

SONDERFORSCHUNGSBEREICH 148

BRANDVERHALTEN VON BAUTEILEN

SCHLUSSBERICHT

DES

TEILPROJEKTES B 5

**Hochtemperaturverbundverhalten
von Beton- und Spannstählen**

PROF. DR.-ING. ROSTÁSY
DR.-ING. SAGER

UB Braunschweig 84



2744-905-5

SONDERFORSCHUNGSBEREICH 148
BRANDVERHALTEN VON BAUTEILEN

S c h l u ß b e r i c h t

des

Teilprojektes B 5

**"Hochtemperaturverbundverhalten
von Beton- und Spannstählen"**

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. F. S. Rostásy

Sachbearbeiter: Dr.-Ing. H. Sager

Technische Universität Braunschweig

-

März 1985



Vorwort

Das Teilprojekt B 5 "Hochtemperaturverbundverhalten von Beton- und Spannstählen" des Sonderforschungsbereichs 148 "Brandverhalten von Bauteilen" wurde 1978 begonnen.

Wesentliches Ziel der Forschung dieses Teilprojektes war die grundsätzliche Klärung des temperaturabhängigen Last-Verschiebungsverhaltens einbetonierter Beton- und Spannstähle sowie des Tragverhaltens der im Stahlbetonbau üblichen Verankerungsarten. Hierzu wurden mit unterschiedlichen Last-Temperatur-Zeit-Programmen Verbundgesetze und Kriechgesetze ermittelt.

In einem ersten Schritt konnten dann aus den im Versuch ermittelten Gesetzmäßigkeiten Stoffgesetze des Verbundes ermittelt und anschließend deren Anwendung bei der rechnerischen Bestimmung von Verankerungslängen aufgezeigt werden.

Mit den Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens sollten nun große Bauteile mit definierten Beanspruchungen untersucht werden, um eine Übertragung der ermittelten Gesetze in Bauteilberechnungen zu ermöglichen.

Das Teilprojekt B 5 wurde 1984 beendet; der vorliegende Schlußbericht gibt einen umfassenden Überblick über die Forschungstätigkeit.

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die großzügige Unterstützung.

Braunschweig, März 1985

Prof. Dr.-Ing. F. S. Rostásy
Dr.-Ing. H. Sager

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Beschreibung des Verbundverhaltens bei Raumtemperatur	3
2.1 Allgemeines	3
2.2 Experimentelle Ermittlung der Verbundgesetze	6
2.3 Stoffgesetze des Verbundes	10
2.4 Differentialbeziehungen des verschieblichen Verbundes	12
2.5 Sprengrißbildung	14
2.6 Nichtlineare Stoffgesetze	17
2.7 Zeitliche Einflüsse auf das Verbundverhalten	17
3. Stand der Erkenntnisse des Hochtemperaturverbundver- haltens	21
3.1 Untersuchungen der Verbundrestfestigkeit nach kurzer Temperatureinwirkung	21
3.2 Untersuchungen der Restfestigkeiten nach langer Temperatureinwirkung	24
3.3 Untersuchung des Verbundverhaltens unter hoher Temperaturen	26
4. Eigene Versuche	34
4 1 Allgemeines	34
4 2 Wahl der Versuchskörper	34
4 3 Parameter der Verbunduntersuchungen	36
4.3.1 Stahl	37
4.3.2 Beton	37
4.3.3 Zentrische Ausziehversuche	40
4.3.4 Exzentrische Ausziehversuche	40
4.3.5 Verankerungen	42
4 4 Last-Temperatur-Zeit-Programme	43
4.4.1 Ausziehversuche	44
4.4.2 Instationäre Kriechversuche	45
4.4.3 Stationäre Kriechversuche	45
4.5 Baustoffuntersuchungen	46
4.5.1 Baustoffuntersuchungen bei Raumtemperatur	46
4.5.2 Baustoffuntersuchungen bei Hochtemperatur	46

5. Versuchseinrichtungen	
5.1 Allgemeines	48
5.2 Verbundprüfeinrichtungen	48
5.2.1 Belastungseinrichtung	50
5.2.2 Ofen und Heizregelung	51
5.3 Meßsysteme und Meßwerterfassung	51
5.3.1 Wegmessung	51
5.3.2 Kraftmessung	55
5.3.3 Temperaturmessung	55
5.3.4 Meßwerterfassung	55
6. Versuchsergebnisse	56
6.1 Allgemeines	56
6.2 Thermische Dehnung	56
6.3 Spaltzugfestigkeit	59
6.4 Temperaturabhängige Verbundgesetze der zentri- schen Ausziehversuche	60
6.4.1 Allgemeines	60
6.4.2 Einfluß der Stahlart	60
6.4.3 Einfluß der Zuschlagsart	64
6.4.4 Einfluß der Lagerungsart	66
6.4.5 Einfluß der Betondruckfestigkeit	66
6.4.6 Einfluß der Verbundlänge	68
6.4.7 Verbundgesetze aus weggeregelten Ver- suchen	68
6.4.8 Verbundbruchspannungen	70
6.5 Der Einfluß der Betondeckung auf das Verbund- verhalten	73
6.5.1 Allgemeines	73
6.5.2 Verbundgesetze exzentrischer Stäbe	73
6.5.3 Vergleich zwischen Rand- und Ecklage	78
6.6 Der Einfluß des Stababstandes auf die Spreng- rißbildung bei Verwendung von Doppelstäben	81
6.6.1 Allgemeines	81
6.6.2 Verbundgesetze von Doppelstäben	82
6.6.3 Sprengrißverhalten	84
6.7 Der Einfluß hoher Temperaturen auf das Last- verschiebungsverhalten von Haken	86
6.7.1 Allgemeines	86
6.7.2 Verbundgesetze von Haken	87
6.7.3 Einfluß der Hakenform	89
6.7.4 Einfluß der Stahlart	92
6.7.5 Vergleich der temperaturabhängigen Bruch- lasten	94

	Seite
6.8 Instationäres Verbundkriechen	96
6.8.1 Allgemeines	96
6.8.2 Einfluß der Betondruckfestigkeit	99
6.8.3 Einfluß der Stahlart	101
6.8.4 Einfluß der Zuschlagsart	102
6.8.5 Einfluß der Lagerungsart	104
6.8.6 Einfluß von Vorlasten	104
6.8.7 Einfluß exzentrischer Stabanordnung	105
6.8.8 Versagenstemperaturen	107
6.9 Stationäres Verbundkriechen	109
6.9.1 Allgemeines	109
6.9.2 Stationäres Kriechen nach Aufheizung unter Last	110
6.9.3 Stationäres Verbundkriechen nach Bela- stung bei hohen Temperaturen	114
7. Stahl und Verbundspannungen sowie Verschiebungen bei konstanten Temperaturen und äußeren Lasten	116
7.1 Vorbemerkungen	116
7.2 Temperaturabhängige Materialgesetze	118
7.2.1 Stoffgesetze des Verbundes	118
7.2.1.1 Allgemeines	118
7.2.1.2 Wahl des Ansatzes zur Beschreibung der temperaturabhängigen Stoffge- setze des Verbundes	119
7.2.2 Temperaturabhängige Materialgesetze des Stahls	125
7.2.2.1 Allgemeines	125
7.2.2.2 Beschreibung der verwendeten Mate- rialgesetze des Stahles	125
7.2.3 Temperaturabhängige Materialgesetze des Betons	127
7.2.3.1 Allgemeines	127
7.2.3.2 Beschreibung der verwendeten Ma- terialgesetze des Betons	127
7.3 Rechenansätze zur Ermittlung der Spannungsver- teilung und Stabverschiebung entlang der Stab- achse eines geraden Haftankers	129
7.3.1 Vorbemerkungen	129
7.3.2 Allgemeine Differentialbeziehungen	130
7.3.3 Näherungslösung durch schrittweise Inte- gration	130
7.3.4 Spannungsverteilungen und Stabverschie- bungen entlang der Stabachse	132
7.3.5 Untersuchungen mit vorgegebenen Veranke- rungslängen nach DIN 1045	135

	Seite
7.3.6 Einfluß der Betondeckung auf die Spannungsverteilung, Stabverschiebungen und auf das Sprengbruchverhalten	138
7.3.7 Einfluß der Betondeckung auf die Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen sowie auf das Sprengbruchverhalten unter Berücksichtigung der Verankerungslänge l_o	143
7.4 Rechenansätze zur Ermittlung der Spannungsverteilung und der Stabverschiebung entlang der Stabachse in der gerissenen Zugzone	147
7.4.1 Vorbemerkung	147
7.4.2 Ermittlung der Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen	148
7.4.3 Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen in der Zugzone eines gerissenen Bauteiles	151
8. Stahl- und Verbundspannungen sowie Verschiebungen bei konstanten äußeren Lasten infolge instationärer Temperaturen	154
8.1 Vorbemerkungen	154
8.2 Materialgesetze für instationäre Temperaturen	156
8.2.1 Instationäre Kriechgesetze des Verbundes	156
8.2.2 Isothermische Stoffgesetze des instationären Verbundkriechens	160
8.2.3 Materialgesetze des Stahles unter Berücksichtigung des Kriecheinflusses . .	163
8.2.4 Materialgesetze des Betons unter Berücksichtigung des Kriecheinflusses	164
8.3 Rechenansätze zur näherungsweisen Ermittlung der Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Stabachse unter instationären Temperaturen	166
8.4 Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen infolge Zwang entlang der Eintragungslänge . .	168
9. Schlußbetrachtungen	173
9.1 Zusammenfassung	173
9.2 Offene Probleme	178
10. Literaturverzeichnis	180
Anhang	A 1 - A 309

Bezeichnungen und Abkürzungen *

Beton:

E_b	Elastizitätsmodul
F_b	Querschnittsfläche
σ_b	Spannung
β_w	Würfeldruckfestigkeit
β_{SZ}	Spaltzugfestigkeit
β_{bZ}	Zugfestigkeit
β_{bD}	Druckfestigkeit
β_c	Zylinderdruckfestigkeit
ϵ_b	Dehnung
$\Delta\epsilon(\delta)$	Differenzdehnung der thermischen Dehnung zwischen Beton und Stahl
c	Betondeckung
a	Betondeckungszahl

* soweit im Text nicht nur einmal verwendet oder dort erklärt

Stahl:

E_e	Elastizitätsmodul
E_{es}	Sekantenmodul
F_e	Querschnittsfläche
f_R	bezogene Rippenfläche
R_a	Rauhigkeit nach DIN ISO 1302
α	Rippenneigung
μ	Verhältniswert, $\mu = F_e/F_b$
n	Verhältniswert, $n = E_e/E_b$
u	Umfang eines Bewehrungsstabes
d_S	Durchmesser eines Bewehrungsstabes
d_{br}	Biegerollendurchmesser
σ_e	Spannung
$\sigma_{e,zul}$	zulässige Stahlspannung nach DIN 1045
σ_u	Versagensspannung im Ausziehversuch mit Haken
β_{eZ}	Zugfestigkeit
$\beta_{0,2}$	Streckgrenze
β_{ee}	Elastizitätsgrenze
ϵ_e	Dehnung
ϵ_{ee}	max. Dehnung des elastischen Bereichs
ϵ_{20}	max. Dehnung des plastischen Bereichs

Verbund:

τ_v	Verbundspannung
τ_{vo}	Haftverbund
τ_{vm}	mittlere Verbundspannung
τ_u, τ_{max}	Verbundbruchspannung
τ_{vd}	dauernd wirkende Verbundspannung
τ_1	zulässige Verbundspannung nach DIN 1045
v	Verschiebung
v_u, v_{max}	Bruchverschiebungen
v_K	Kriechverschiebungen bei konstanten Temperaturen
v_{Ki}	Kriechverschiebungen bei instationären Temperaturen
a_o, b_o, c_o, d_o	Koeffizienten der Verbundgesetze
i, j, q, p	Koeffizienten der Kriechgesetze des Verbundes
T	Verbundkraft
l_v	Verbundlänge
φ_{vi}	Kriechzahl des instationären Verbundkriechens
φ_{vK}	Kriechzahlen des stationären Verbundkriechens
$P/P_u, P/P_u(20^\circ C)$	Auf die Verbundbruchlast bei Raumtemperatur bezogener Ausnutzungsgrad

Sonstige

Q	Querkraft
M	Moment
P	Last, Belastungsgrad
P _u	Bruchlast
x	Ordinate des Weges
Θ	Temperatur
$\dot{\Theta}$	Aufheizgeschwindigkeit
Θ _u	Versagenstemperatur
krit Θ _{Ki}	kritische lastabhängige Verbundtemperatur beim instationären Kriechen
t	Zeit
t _o	Beginn eines Ereignisses
t _e	Ende eines Ereignisses
h	Stunden
min	Minuten
l _v	Verankerungslänge
l _e	Eintragungslänge
l _o	Grundmaß der Verankerungslänge nach DIN 1045
r.F.	relative Feuchte
d ...	differentielle Größe
... (Θ)	temperaturabhängige Größe
... (t)	zeitabhängige Größe
... (x)	wegabhängige Größe
... _o	Wert an der Stelle x = 0; t = 0; Θ = 20 °C
RT	Raumtemperatur
HT	Hochtemperatur

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Wesentliches Ziel der Forschung über das Brandverhalten von Bauwerken aus Stahlbeton und Spannbeton ist die zuverlässige Vorhersage der Tragfähigkeit. Diesem Ziel entsprechend wurde in den vergangenen Jahren das Verhalten der Werkstoffe Stahl und Beton unter hohen Temperaturen eingehend erforscht. Gemessen am Kenntnisstand über das Verhalten von Stahl und Beton ist das Wissen über das Zusammenwirken der beiden im Verbund bei hohen Temperaturen als gering zu bezeichnen.

Aus der Literatur sind im wesentlichen nur Aussagen über die temperaturabhängige Entwicklung der Versagenslasten des Verbundes bekannt. Diese Ergebnisse stützen sich zumeist auf Versuchsdaten, die im wiedererhalteten Zustand gewonnen wurden. Will man jedoch das Verbundverhalten bei der Bemessung brandbeanspruchter Bauteile berücksichtigen, so sind hierfür Stoffgesetze erforderlich.

Das Teilprojekt B 5 des Sonderforschungsbereichs 148 "Brandverhalten von Bauteilen" hatte zum Ziel, das Verbundverhalten einbetonierter Bewehrungsstäbe unter hohen Temperaturen systematisch zu untersuchen.

Im ersten Untersuchungsabschnitt wurde anhand von zentrischen Ausziehversuchen das grundsätzliche Last-Verschiebungsverhalten von Betonrippenstählen untersucht.

Anschließend wurden exzentrische Ausziehversuche durchgeführt, um die Grenzen zwischen Gleit- und Sprengbruch durch Veränderung zu studieren. Zusätzliche Untersuchungen an im Stahlbetonbau üblichen Verankerungsarten ergänzten diese Erkenntnisse.

Aus diesen Versuchsergebnissen wurden dann Stoffgesetze abgeleitet, die als Grundlage zur rechnerischen Erfassung des temperaturabhängigen Verbundverhaltens dienen können.

Parallel zu den Untersuchungen im Ausziehversuch wurden stationäre und instationäre Verbundkriechuntersuchungen durchgeführt.

Der Schlußbericht ist wie folgt gegliedert: Zuerst werden die Grundlagen zur Beschreibung des Verbundverhaltens bei Raumtemperatur dargestellt.

Anschließend erfolgt eine Übersicht über den Stand der Erkenntnisse des Hochtemperaturverbundverhaltens.

Nach der Darstellung des Versuchsprogramms folgt dann die Beschreibung der Versuchseinrichtung.

Die Versuchsergebnisse werden dann in einer zusammenfassenden Darstellung beschrieben, um Unterschiede der verschiedenen Parameter herausarbeiten zu können. Dieser Abschnitt läßt sich in zwei Teile untergliedern:

- im ersten Teil werden die Versuchsergebnisse der Ausziehversuche dargestellt,
- im zweiten erfolgt die Darstellung der in Kriechversuchen gewonnenen Ergebnisse.

(Die ausführliche Erfassung der Versuchsergebnisse erfolgt im Anhang für jeden Parameter getrennt.)

Aufbauend auf den Versuchsergebnissen werden dann im weiteren Stoffgesetze entwickelt, deren Anwendung für die rechnerische Erfassung des temperaturabhängigen Verbundverhaltens anschließend dargestellt wird.

Nach der Zusammenfassung und der Literaturliste schließt sich im Anhang die Darstellung der Versuchsergebnisse im einzelnen an.

Hier sei zusätzlich auf die Veröffentlichungen hingewiesen, die im Rahmen der Arbeitsberichte des Sonderforschungsbereichs vorliegen [3.6, 3.12].

2. BESCHREIBUNG DES VERBUNDVERHALTENS BEI RAUMTEMPERATUR

2.1 Allgemeines

Der Verbund - als Ausdruck für den Kraftübertrag vom Bewehrungsstab auf den umgebenden Beton - war schon seit Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts Gegenstand umfangreicher Untersuchungen.

Die Veröffentlichungen von Dörr et al. [2.1], des C.E.B. [22] und von Rostásy, Rohling [2.3] fassen die langjährigen Forschungsergebnisse systematisch zusammen.

In diesem Kapitel soll die Darstellung dieser Forschungsergebnisse nur insoweit erfolgen, als sie zur Verdeutlichung des eigenen Ansatzes notwendig sind.

Will man die Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbauteile wirklichkeitsnah erfassen, benötigt man Aussagen über die Verschiebungen zwischen Stahl und Beton. Die Annahme unverschieblichen Verbundes zwischen Stahl und Beton entspricht nicht der Wirklichkeit.

Bei Belastung ergeben sich zwischen Stahl und Beton Relativverschiebungen, verursacht durch die Verzerrung eines dünnen Teils des Betonmantels. Gekoppelt mit den Verzerrungen sind Schub- bzw. Verbundspannungen in dieser Grenzschrift.

Die Verzerrung dieser Grenzschrift ist nach Rehm [2.4] und Lutz [2.5] im wesentlichen beeinflusst von der Oberflächenbeschaffenheit des Stahles und der Verformbarkeit des Betons.

Bild 2.1 stellt das prinzipielle Verbundspannungs-Verschiebungsverhalten eines gerippten Stahles dar, wie es im üblichen weggeregelten Ausziehversuch beobachtet wird.

Es lassen sich qualitativ drei unterschiedliche Verbundwirkungen unterscheiden:

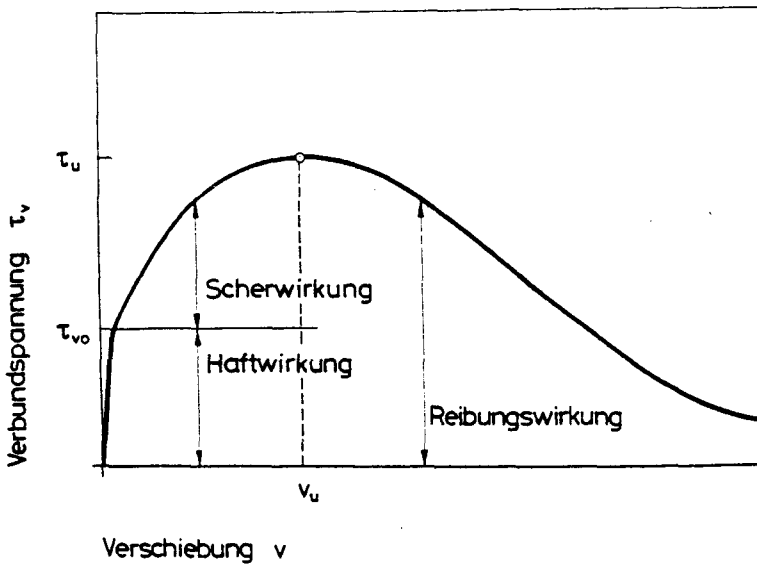


Bild 2.1: Qualitative Darstellung der Verbundspannungs-Verschiebungs-Beziehung gerippter Betonstähle (Versagen durch Gleitbruch)

- Die Haftwirkung beruht auf der chemisch-physikalischen Adhäsion zwischen Stahl und Beton. Sie ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit des Stahles und der Festigkeit des Zementsteins.
- Nach dem Überwinden des Haftverbundes τ_{v0} , dem eine meßbare Verschiebung praktisch nicht zugeordnet werden kann, setzt die Scherwirkung der Rippen ein.
- Die Scherwirkung ergibt sich aus der Verzahnung der Stahlrippen mit dem umgebenden Beton. Durch die Verschiebung des Stahles werden die 'Betonkonsolen' zwischen den Rippen auf Scheren beansprucht. Die Scherwirkung ist abhängig von der Rippenhöhe und dem Rippenabstand sowie von der Verformbarkeit des Betons.

Das Maximum der Last-Verschiebungskurve gibt die Verbundbruchspannung τ_u wieder. In einem lastgesteuerten Versuch ist über diesen Punkt hinaus keine Meßwerterfassung mehr möglich.

Die zu beobachtende Versagensart ist der Gleitbruch bzw. der Sprengbruch. Die Versagensart hängt u. a. ab von verbundspezifischen Einflüssen. Ist die den Stab umschließende, kleinste Betondeckung c groß, so wird bei geringen Betondruckfestigkeiten β_w sowie bei geringer bezogener Rippenfläche f_R des Stahles der Stab herausgezogen. Der Gleitbruch tritt ein, indem die Betonkonsolen unter den Stahlrippen abgeschert werden.

Bei Abnahme der Betondeckung c sowie bei hohem β_w und f_R tritt das Versagen überwiegend durch Aufreißen der Betondeckung, d. h. durch Sprengbruch, ein (s. Kap. 2.5).

Die Verbundbruchspannungen und -verschiebungen des Gleitbruchs übertreffen die des Sprengbruchs. Der Gleitbruch ist ein duktiles Versagen, der Sprengbruch ein sprödes.

Steuert man jedoch die Beanspruchung im Versuch nach dem Ausziehweg, kann noch über die Verbundbruchspannung hinaus mit abnehmender Last eine Verschiebung gemessen werden. Der hier feststellbare Verbundanteil beruht auf Reibungswirkung.

- Die Reibungswirkung ist wenig erforscht. Sie ist vermutlich abhängig von der vorgegebenen Belastungsgeschwindigkeit sowie von der Korngröße und Festigkeit des Feinzuschlages und von der Rippengeometrie des Stahles.

Die Versagensart ist hier immer der Gleitbruch.

Kennt man den Zusammenhang zwischen aufgebrachter Last und Relativverschiebung, ist eine rechnerische Berücksichtigung des Verbundes möglich.

2.2 Experimentelle Ermittlung der Verbundgesetze

Viele der in [2.1, 2.2, 2.3] aufgeführten Untersuchungen befassten sich mit der Erforschung der Verbundspannungs-Verschiebungs-Beziehung anhand von Versuchen. Hierzu wurden Versuchskörper entwickelt, die den Beanspruchungszuständen in den unterschiedlichen Tragwerksbereichen nachgebildet waren. Die gebräuchlichsten Versuchskörper und deren Zuordnung zum Bauteil sind Bild.2.2 zu entnehmen.

In Stahlbetonbiegestäben kann man im Zustand II drei Beanspruchungsbereiche unterscheiden:

- Bereich überwiegender Biegung ($Q \approx 0$)
- Biegeschubbereich (M, Q)
- Verankerungsbereich ($M \approx 0$)

Ausgehend von diesen Bereichen ergeben sich für die Versuchskörper folgende Spannungszustände:

Im Spleiß- und Dehnkörper werden bei Belastung sowohl der Stahl als auch der Beton auf Zug beansprucht. Diese Versuchskörper simulieren den Bereich der Biegung.

Beim Konsolkörper wird die Zugkraft des Stahles über Verbund und Schub in den Beton abgetragen.

Beim Balkenendkörper werden im Unterschied zum Konsolkörper zusätzlich noch Querdrukspannungen aufgebracht, wie sie bei direkter Stützung im Auflagerbereich auftreten.

Als allgemeine Prüfkörper haben sich jedoch nur der "beam-test" und der "pull-out-test" durchgesetzt. "Beam-test" und "pull-out-test" sind hinsichtlich Geometrie und Versuchsdurchführung in [2.6, 2.7] festgelegt.

Wegen seiner einfachen Herstellung und Handhabung wird der Ausziehkörper am häufigsten verwendet, obwohl mit ihm keine der dargestellten Bauteilbeanspruchungen reproduziert werden können. Dieser Prüfkörper eignet sich jedoch gut zur Untersuchung der verschiedenen Einflußparameter auf das Verbundverhalten.

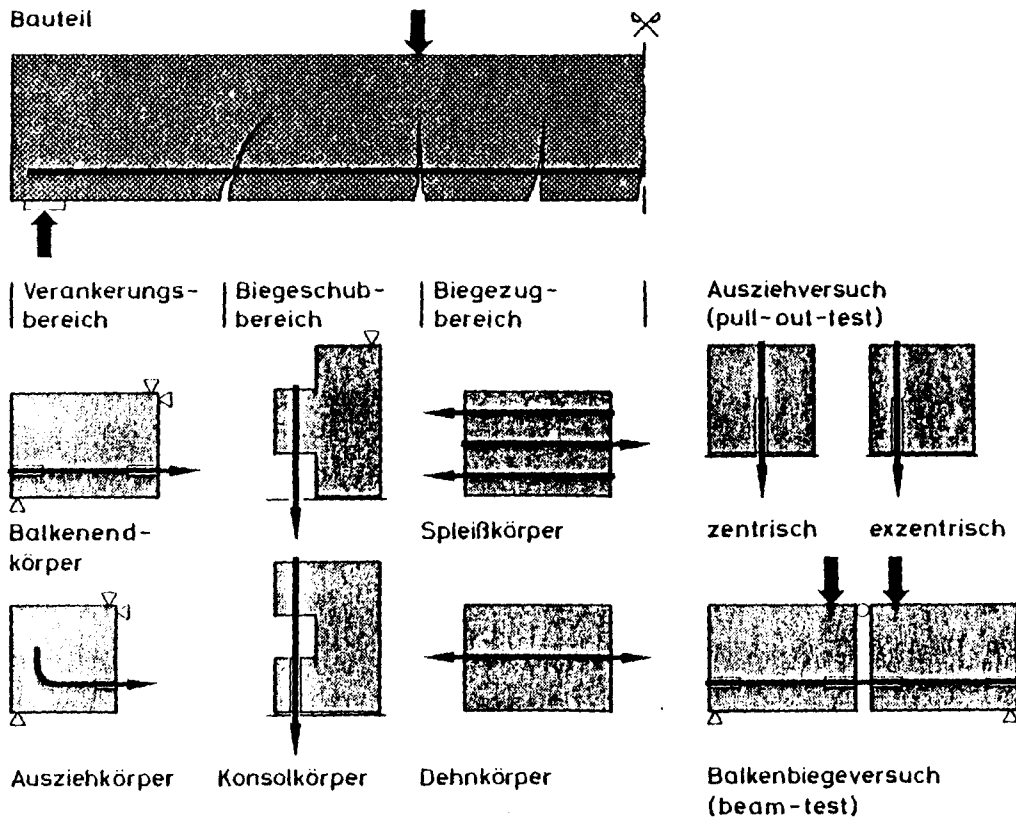


Bild 2.2: Charakteristische Bereiche der Verbundbeanspruchung im Bauteil und ihre Nachbildung durch Versuchskörper

Bei allen Versuchskörpern, mit Ausnahme des Biegebalkens, wird die Last direkt über den Stahl aufgebracht. Aus der Stahlspannung wird die mittlere, d. h. auf die gesamte Einbettungslänge bezogene Verbundspannung ermittelt. Dieser mittleren Verbundspannung wird die am lastfreien Stabende gemessene relative Stabendverschiebung zugeordnet.

Diese so gewonnene Beziehung wird als Verbundgesetz bezeichnet. Es stellt eine Näherung des wirklichen Verbundspannungs-Verschiebungsverhaltens dar. Zu dessen eindeutiger Definition müßte - streng genommen - der örtlichen Verbundspannung die zugehörige örtliche Verschiebung zugeordnet werden.

Zur Lösung dieses Problems sind aus der Literatur zwei grundsätzlich unterschiedliche Wege bekannt:

- a) die direkte Bestimmung der Stahl- bzw. Betondehnung, aus denen die örtliche Verbundspannung und Verschiebung rechnerisch bestimmt wird. Die auf diese Weise von Wahla [2.8], Tanner [2.9] und Nilson [2.10] an Zugkörpern ermittelten Verbundgesetze sind in Bild 2.3 dargestellt.
- b) die Bestimmung der Verbundspannung und der zugehörigen Verschiebung anhand von Ausziehversuchen mit extrem kurzer Verbundlänge. Bild 2.4 gibt Verbundgesetze wieder, die von Rehm [2.4] und Lutz [2.5] ermittelt wurden.

Der Darstellung ist zu entnehmen, daß das Verbundverhalten maßgeblich von der Rippenneigung α abhängt. Für das Verhältnis Rippenfläche zur Mantelfläche hat Rehm den Begriff "bezogene Rippenfläche" f_R eingeführt. Er kann nachweisen, daß die bezogene Rippenfläche eine maßgebliche Wirkung auf den Verlauf des Last-Verschiebungs-Verhaltens ausübt.

Die in Ergänzung der aufgeführten Versuchsergebnisse von Lutz sowie die an Dehnkörpern gewonnene Last-Verschiebungs-Beziehung von Tanner unterscheiden sich deutlich von denen, die

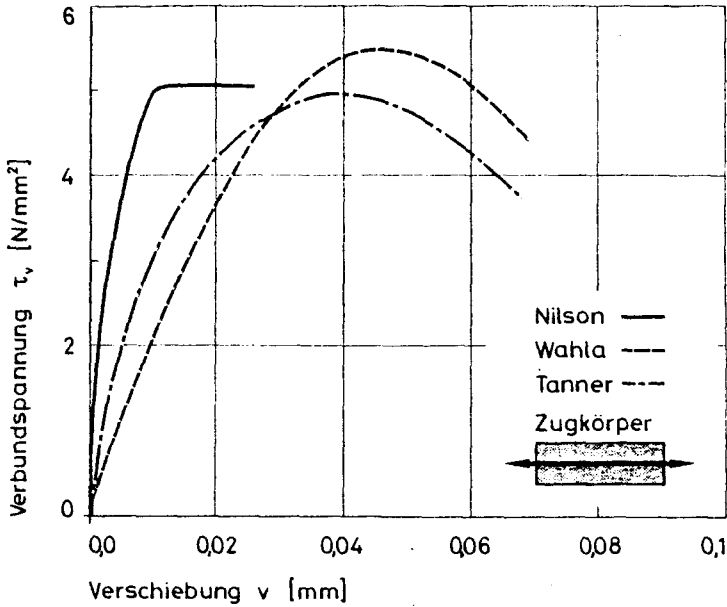


Bild 2.3 An Zugkörpern ermittelte Verbundgesetze nach [2.9, 2.9, 2.10]

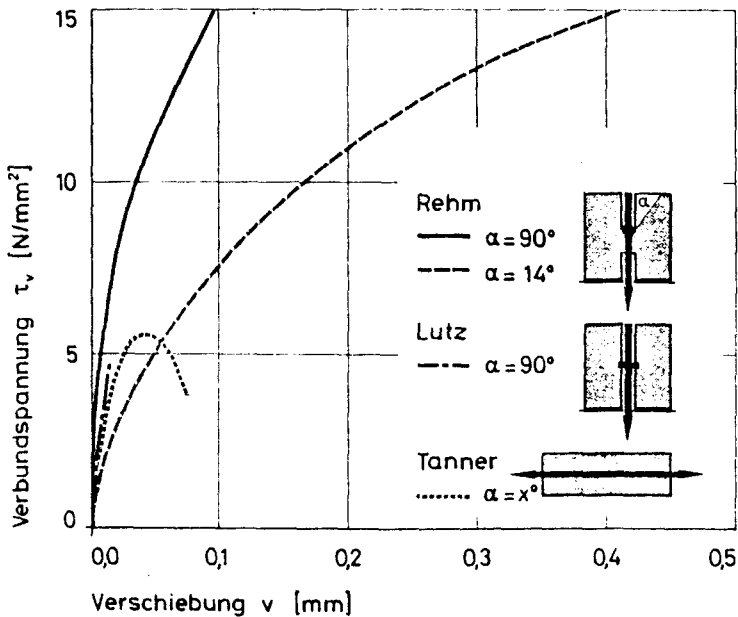


Bild 2.4 In Ausziehversuchen ermittelte Verbundgesetze nach [2.4, 2.5]

Rehm ermittelte. Zwar ist das Last-Verschiebungs-Verhalten bis rd. 5,0 N/mm² ähnlich, jedoch erreichen die Verbundgesetze von Lutz und Tanner hier schon ihr Maximum.

Die Darstellung macht deutlich, daß ein Vergleich von Verbundgesetzen, die mit unterschiedlichen Versuchskörpern ermittelt wurden, nur schwer möglich ist. Aus den Veröffentlichungen [2.1, 2.2, 2.3] können zusammenfassend die Parameter herausgestellt werden, die das Verbundspannungs-Verschiebungs-Verhalten neben der Versuchskörperart maßgeblich beeinflussen:

- Rippenform
 - Rippenhöhe
 - Rippenabstand
 - Betonzusammensetzung
 - Konsistenz
 - Betondruckfestigkeit
 - Zuschlagsart
- } bez. Rippenfläche f_R

Diese Parameter sind bei der Darstellung der Verbundgesetze im Anhang berücksichtigt worden.

Neben diesen Parametern gibt es noch weitere wie z. B. den Querdruk oder die Lage des Stabes, die den Verbund beeinflussen.

2.3 Stoffgesetze des Verbundes

Nachdem in 2.2 die experimentelle Ermittlung der Verbundgesetze dargestellt wurde, kann mit geeigneten Stoffgesetzen des Verbundes der Spannungszustand in der Zugzone eines Stahlbetonbauteils ermittelt werden.

Hierzu müssen Rechenfunktionen zur Beschreibung der Verbundgesetze $\tau_v = f(v)$ definiert werden.

Der einfachste Ansatz einer Rechenfunktion für Verbundgesetze ist von Lutz, L. [2.5] gewählt worden. Er beschreibt das Verbundverhalten mit einer Geradengleichung $\tau_v = a_1 \cdot v$. Wahle [2.8] und Tanner [2.9] schlagen bilineare Rechenfunktionen vor.

Wirklichkeitsnähere Ansätze wurden von Nilson [2.10], Rehm [2.4, 2.11], Martin [2.12] und Noakowski [2.13] gewählt. Nilson gibt für

die von Wahle ermittelte Verbundgesetze

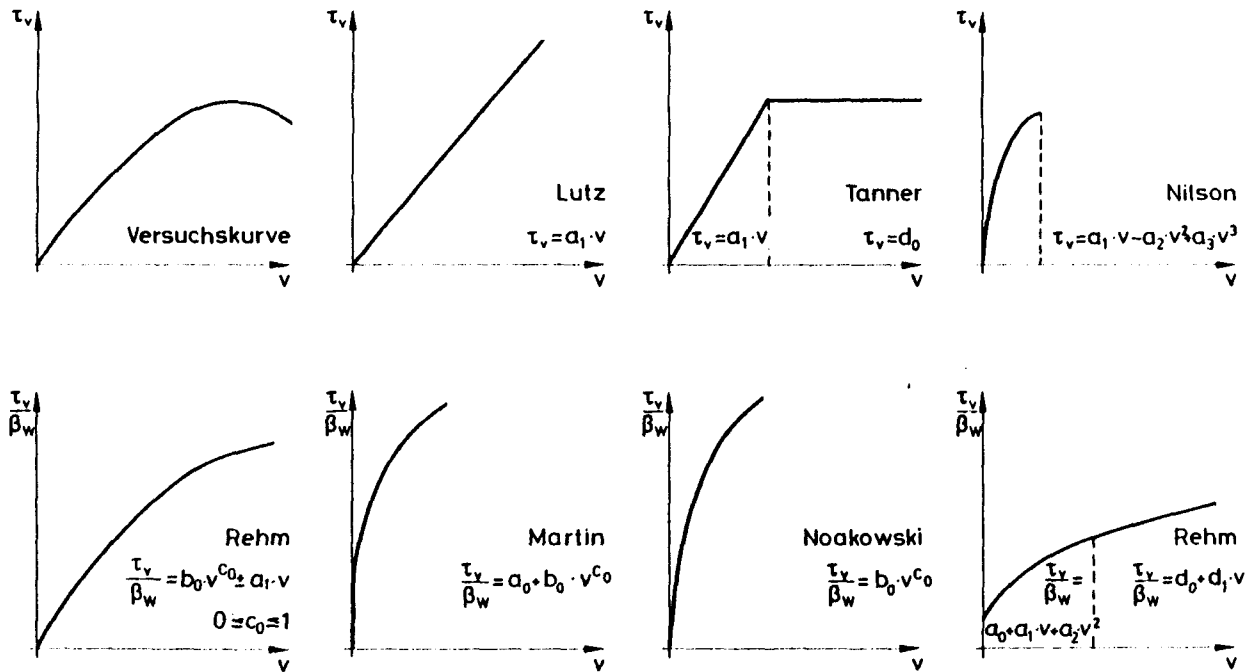


Bild 2.5 Typische Versuchskurve des Ausziehversuchs und einige gebräuchliche Stoffgesetze des Verbundes

Grades an. Rehm, Martin und Noakowski stellten zwischen Verbundbruchspannung τ_{vu} und Würfeldruckfestigkeiten β_w unterschiedlicher Betone einen linearen Zusammenhang fest und gaben die Stoffgesetze des Verbundes in auf die Druckfestigkeit bezogener Form an. Die von ihnen verwendeten nichtlinearen Funktionen sind in Bild 2.5 dargestellt.

Alle hier dargestellten Stoffgesetze gelten nur für stetige Belastungsvorgänge im Gebrauchslastbereich. Der Belastungsbereich zwischen Gebrauchs- und Bruchlast kann mit ihnen, mit Ausnahme des Ansatzes von Nilson, nicht beschrieben werden, da die verwendeten Funktionen kein Maximum aufweisen. Außerdem wird von den Autoren über das Verschiebungsverhalten im Versagensbereich nicht verfügt.

2.4 Differentialbeziehungen des verschieblichen Verbundes

Mit Hilfe der definierten Stoffgesetze des Verbundes läßt sich, unter Berücksichtigung der Verschiebung zwischen Stahl und Beton, der Verlauf der Stahl- und Verbundspannungen entlang der Achse eines Betonstahles bestimmen.

Ausgehend von einem Stahlbetonstab mit Rechteckquerschnitt, der mit einem Betonstahl zentrisch bewehrt ist, läßt sich der analytische Zusammenhang zwischen Stahlspannung, Verbundspannung und Verschiebung in Form von Differentialbeziehungen darstellen. Hierzu wird ein einachsiger Spannungszustand angenommen und elastisches Verhalten von Beton und Stahl vorausgesetzt. Weiterhin gilt die Bernoulli-Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte. Außerdem wird angenommen, daß die Verbundspannungen gleichmäßig über den Stabumfang verteilt angreifen und entlang der Stabachse stetig verteilt sind.

Nach [2.4] entspricht die Differenz von Stahl- und Betonverformung der Verschiebungsänderung $dv(x)$ über dem Stabdifferential dx

$$\frac{dv(x)}{dx} = \varepsilon_e(x) - \varepsilon_b(x) \quad (2.1)$$

Ist an der Stelle $x = 0$ die Stahlspannung σ_{eo} und die Betonspannung σ_{bo} bekannt (s. Bild 2.6), so kann man an jeder beliebigen Stelle x die Betonspannung bestimmen durch

$$\sigma_b(x) = \sigma_{bo} - \mu(\sigma_e(x) - \sigma_{eo}). \quad (2.2)$$

Hierin gibt μ das Verhältnis von Stahl- und Betonfläche an.

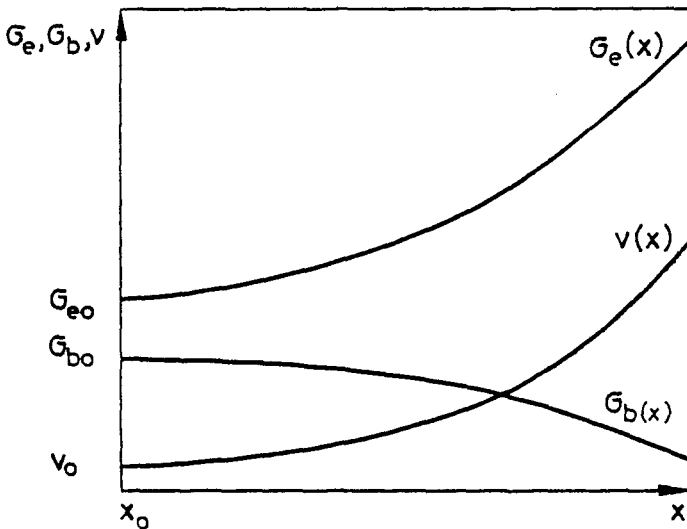


Bild 2.6 Schematischer Spannungs- und Verschiebungsverlauf

Mit (2.2) und der Annahme elastischen Verhaltens von Beton und Stahl ($n = E_e/E_b$) folgt aus (2.1) die Differentialgleichung

$$\frac{dv(x)}{dx} = \frac{\sigma_e(x)}{E_e} (1 + n\mu) - \frac{\sigma_{bo} - \mu\sigma_{eo}}{E_b} \quad (2.3)$$

Die Veränderung der Stahlkraft kann nur über Verbundspannungen erfolgen. Die Differentialbeziehung des Gleichgewichts am Stabdifferential der Länge dx lautet

$$F_e \cdot \frac{d\sigma_e(x)}{dx} = u \cdot \tau_v(x) \quad (2.4)$$

bzw.

$$\frac{d\sigma_e(x)}{dx} = \frac{4}{d_s} \cdot \tau_v(x) \quad (2.5)$$

Differenziert man (2.3) nach x und setzt man in (2.3) (2.5) ein, so erhält man

$$\frac{d^2 v(x)}{dx^2} = \frac{4}{d_s} \cdot \left(\frac{1 + n\mu}{E_e} \right) \cdot \tau_v(x) = k \cdot \tau_v(x). \quad (2.6)$$

Mit den in Abschnitt 2.3 definierten Stoffgesetzen $\tau_v(x) = f(v(x))$ folgt aus (2.6) die Differentialgleichung des verschieblichen Verbundes:

$$\frac{d^2 v(x)}{dx^2} = k \cdot f(v(x)); \text{ mit } k = \frac{4}{d_s} \left(\frac{1 + n\mu}{E_e} \right) \quad (2.7)$$

Rehm [2.4] und auch Martin [2.12] lösen die Differentialgleichung für bestimmte τ_v - v -Beziehungen. Sie zeigen, daß eine allgemeine Lösung nur dann gelingt, wenn Vereinfachungen vorgenommen werden; aber auch dann entstehen recht unhandliche Lösungen. Deshalb empfehlen beide Autoren die Lösung durch numerische Integration, die in [2.12] näher beschrieben wurde.

2.5 Sprengrißbildung

Mit Hilfe der Differentialgleichung des verschieblichen Verbundes ist es nun möglich, Verankerungslängen für Betonstahl rechnerisch zu bestimmen. Die dargestellten Gesetzmäßigkeiten berücksichtigen jedoch nicht, daß durch die in den Beton eingetragenen Kräfte vorzeitiges Versagen durch Sprengrißbildung auftreten kann.

Es ist somit erforderlich, das Rißverhalten und das damit zusammenhängende Versagen einer Verbundverankerung zu untersuchen.

Dadurch, daß die Kraftübertragung gerippter Betonstähle durch hohe diskontinuierlich auftretende, lokale Rippenpressungen erfolgt, müssen neben elastischen und plastischen Verformungen aufgrund der Spannungskonzentration einerseits und der niedrigen Betonzugfestigkeit andererseits Mikrorisse im Beton nahe der Rippen auftreten. Goto [2.14] konnte dies an zylindrischen Dehnkörpern nachweisen. Er stellte das in Bild 2.7 skizzierte Rißbild von Primär- und Sekundärrissen fest.

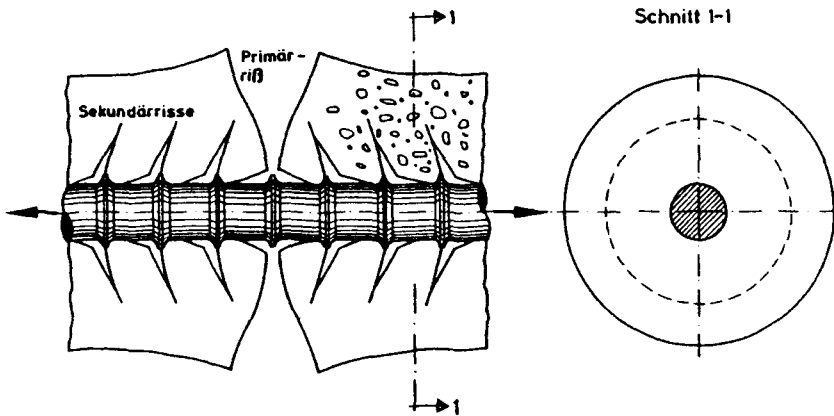


Bild 2.7: Innere Rißbildung nach [214]

In den sich ausbildenden Betonkonsolen entstehen hohe Druckspannungen und somit in radialer Richtung Zugspannungen. Bei geringer Betondeckung kann der Beton dadurch in Längsrichtung aufreißen.

Martin untersuchte die Sprengrißbildung rechnerisch mit der Finite-Element-Methode. Er setzte voraus, daß Sprengrisse dann auftreten, wenn die Spaltzugfestigkeit des Beton erreicht wird. Als ausnutzbare Betonzugfläche setzte er einen den Stab umgebenden Hohlzylinder mit der Betondeckung als Mantelstärke an.

Tepfers [2.15] untersuchte das Sprengbruchverhalten einer Verbundverankerung theoretisch und experimentell anhand von ex-

zentrischen Ausziehversuchen an dünnen Betonscheiben. Er konnte nachweisen, daß ein linearer Zusammenhang zwischen Verbundbruchspannung τ_u einerseits sowie der Zugfestigkeit des Betons β_{bz} und der Betondeckungszahl a andererseits besteht:

$$(0,6 \cdot a + 0,3) \beta_{bz} < \tau_u < 2 \cdot a \cdot \beta_{bz}$$

Diesem Rechenansatz sind in Bild 2.8 Versuchsergebnisse gegenübergestellt.

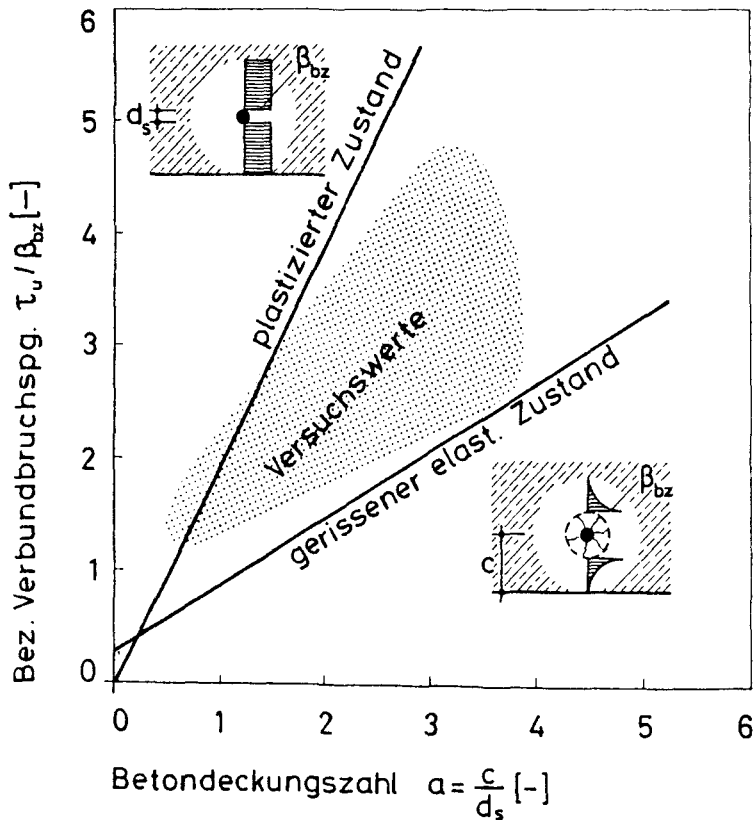


Bild 2.8: Kritische Verbundbruchspannung in Abhängigkeit von der Betondeckung nach [2.15]

Die obere Begrenzungsgerade der Versuchsergebnisse setzt eine lineare Spannungsverteilung um den Stab in der als zylindrisch angenommenen Zugzone voraus; ein Aufreißen tritt erst ein, wenn die gesamte Betondeckung "durchplastiziert" ist. Die untere Begrenzungsgerade geht von einem radial gerissenen "Goto'schen" Innenbereich aus. Im verbleibenden ungerissenen Mantel wird eine nichtlineare Spannungsverteilung bei elastischem Betonverhalten vorausgesetzt. Die Betondeckung reißt auf, wenn die Zugfestigkeit an einer Stelle überschritten wird.

2.6 Nichtlineare Stoffgesetze

Für die Erfassung des Trag- und Verformungsverhaltens eines Bauteils kurz vor dem Versagen müssen die plastischen Verformungsanteile der Spannungs-Dehnungslinie von Beton und Stahl berücksichtigt werden.

Bachmann [2.16] und später auch Eifler [2.17] befaßten sich mit dem Einfluß des Verbundverhaltens auf die inelastischen Verformungen bei Ausbildung "plastischer Gelenke" in Stahlbetonbauteilen. Sie definieren Verbundgesetze, die ein Maximum aufweisen, und berücksichtigen elastisch-plastische Spannungs-Dehnungslinien des Stahles. Zur Ermittlung der Spannungsverteilungen entlang der Stabachse modifizieren sie den Martinschen Ansatz der schrittweisen Integration. Die Stahl- und Betondehnungsanteile an der Verschiebung werden getrennt erfaßt (s. auch Kapitel 7.4).

2.7 Zeitliche Einflüsse auf das Verbundverhalten

Stahlbetonbiegebauteile im Zustand II zeigen unter Dauerlast eine Zunahme der Rißbreiten. Die Ursache hierfür sind das Kriechen des Betons in der Druckzone, das Schwinden und auch das Verbundkriechen. Das Verbundkriechen, verursacht durch die hohen Pressungen in den Betonkonsolen, ist vergleichsweise wenig erforscht.

Franke [2.18] ist einer der Forscher, die sich mit dem Verbundkriechen grundlegend befaßten. Auf der Basis seiner und anderer Versuche ergibt sich das in Bild 2.9 dargestellte grundsätzliche Verschiebungsverhalten unter Dauerlast.

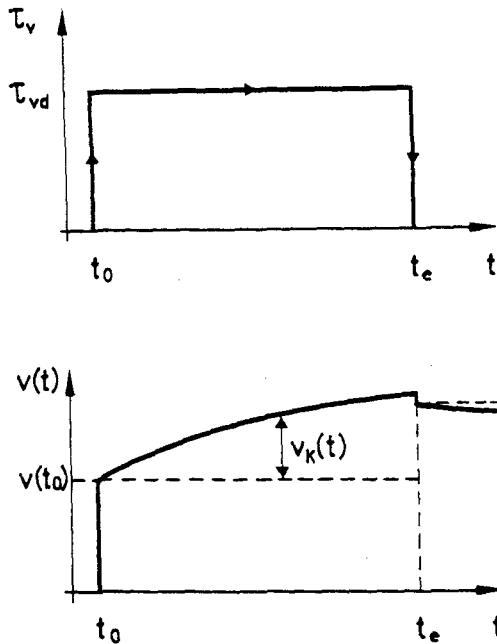


Bild 2.9: Schematisches Verbundkriechverhalten

Bei Belastung bis zu einer dann dauernd wirkenden Verbundspannung τ_{vd} stellt sich eine spontane Verschiebung $v(t_0)$ ein. Anschließend ist eine zeitabhängige Verschiebungsänderung $v_k(t)$ zu beobachten. Bezieht man die Verschiebungsänderung auf die spontane Anfangsverschiebung $v(t_0)$, so erhält man eine zeitabhängige Kriechfunktion $\varphi_{vk}(t)$, die nach [2.19] vom Belastungsalter unabhängig ist. Sie gilt bedingungsgemäß nur von der Zeit t an unter Last und ist nicht von der Belastungshöhe abhängig (lineares Kriechen).

Mit ihr läßt sich die mit der Zeit auftretende Gesamtverschiebung darstellen:

$$v(t) = v(t_0) + v_K(t) = v(t_0) [1 + \varphi_{vK}(t)] \quad (2.8)$$

Die bei unterschiedlichen Belastungsgraden ermittelten Gesamtverschiebungen bilden sich nach [2.18] in doppeltlogarithmischem Maßstab als parallele Geraden ab. Somit läßt sich die funktionale Form von φ_{vK} allgemein mit einem Potenzansatz

$$\varphi_{vK} = i \cdot t^j \quad (2.9)$$

beschreiben.

Zur Berechnung der Spannungsverteilungen und der zugehörigen Verschiebungen entlang der Stabachse stellte Franke eine Integro-Differentialgleichung des zeitabhängigen verschieblichen Verbundes auf. Da eine geschlossene Lösung dieser Differentialgleichung nicht möglich war, formulierte Franke Näherungslösungen mit Hilfe von numerischen Methoden. Er entwickelte hierfür ein gekoppeltes System von Differenzengleichungen, das sich auf iterativem Weg lösen läßt.

Da jedoch auch dieser Lösungsweg numerisch sehr aufwendig war, entwickelte Franke für die Verbundkriechgesetze einen Isochronenansatz.

Svensvik [2.20] modifizierte diesen Ansatz. Mit dem in [2.12] angegebenen Ansatz eines Stoffgesetzes des Verbundes unter kurzzeitiger Beanspruchung

$$\tau_v / \beta_w = a_0 + b_0 \cdot v^{c_0} \quad (2.10)$$

läßt sich durch Umformung die Relativverschiebung v ausdrücken

$$v = \left(\frac{\tau_v - a_0 \cdot \beta_w}{b_0 \cdot \beta_w} \right)^{1/c_0} \quad (2.11)$$

Mit Hilfe der Verbundkriechfunktion (2.9) ist es nach [220] nun möglich, Verbundspannungs-Verschiebungs-Isochronen zu berechnen:

$$v(t) = \left(\frac{\tau_v(t) - a_0 \cdot \beta_w^{1/c_0(t)}}{b_0(t) \cdot \beta_w} \right) \quad (2.12)$$

Mit Verwendung der Stoffgesetze des Verbundes von [2.12, 2.21] ermittelte Svensvik "isochrone Stoffgesetze des Verbundkriechens". Sie sind in Bild 2.10 dargestellt.

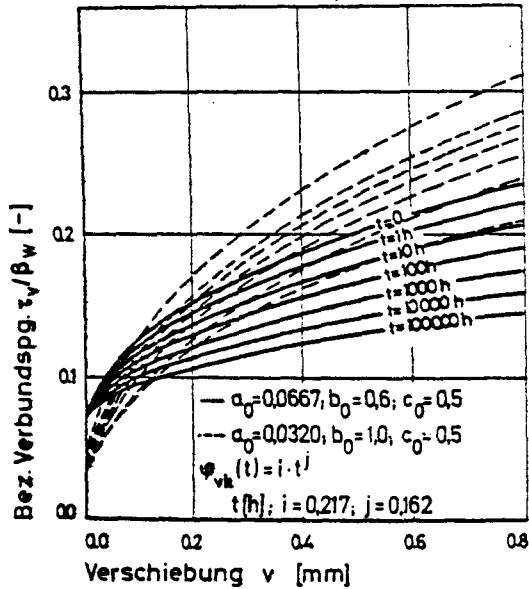


Bild 2.10: Isochrone Stoffgesetze des Verbundkriechens unter Verwendung der Parameter von Martin [2.12] und Koch [2.21] nach Svensvik [2.20]

3. STAND DER ERKENNTNISSE DES HOCHTEMPERATURVERBUNDVERHALTENS

3.1 Untersuchungen der Verbundrestfestigkeit nach kurzer Temperatureinwirkung

Über Untersuchungen zum Hochtemperaturverbundverhalten wird erstmals 1954 berichtet [3.1]. Die Arbeit befaßte sich mit der Resttragfähigkeit einer Verbundverankerung nach vorheriger Einwirkung hoher Temperaturen.

Milovanov, Salmanov [3.1] untersuchten das Verbundverhalten von glattem und geripptem Betonstahl nach einer Aufheizung auf 100 °C, 250 °C, 350 °C und 450 °C im wiedererkalteten Zustand. Die Aufheizgeschwindigkeit betrug rd. 35- 75 °C/h. Beim Ausziehversuch wurde die Last und die Stabverschiebung am unbelasteten und belasteten Ende der Verbundzone gemessen. Der Versuchskörper ist in Bild 3.1 links dargestellt.

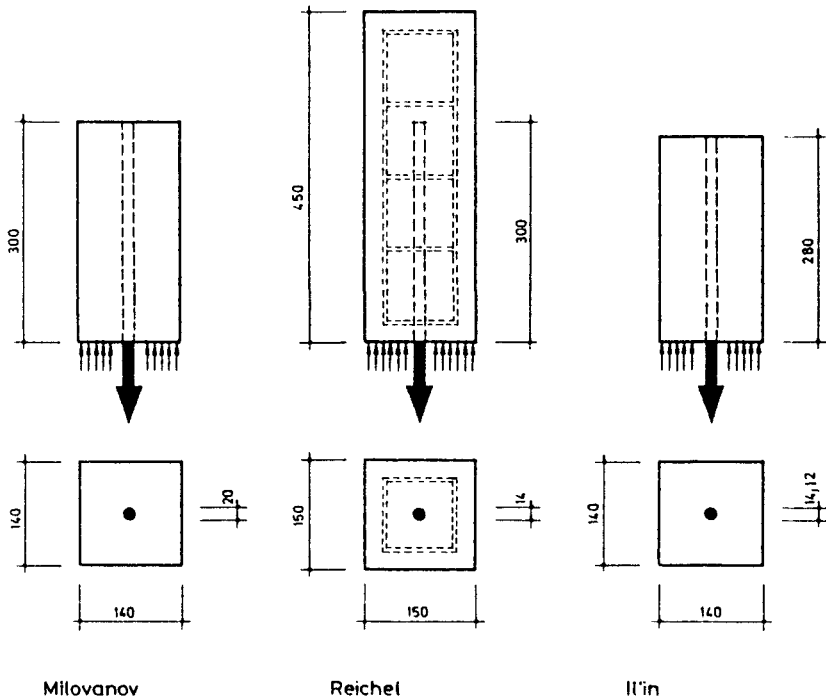


Bild 3.1: Versuchskörper zur Untersuchung der Verbundrestfestigkeit nach [3.1, 3.2, 3.3]

Auch Reichel [3.2] untersuchte das Verbundverhalten nach einer Temperaturbeanspruchung. Die Darstellung der Versuchskörper ist Bild 3.1 zu entnehmen. Je 4 Versuchskörper wurden zusammen aufgeheizt und 24 Stunden nach dem Wiedererkalten geprüft. Die Aufheizgeschwindigkeit entsprach der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102. Die Abkühlung war unregelmäßig.

Il'in [3.3] berichtet über Verbunduntersuchungen an Leichtbeton. Er benutzte den gleichen Versuchsaufbau wie [3.1]. Die Versuche wurden mit glattem und geripptem Betonstahl durchgeführt.

Die Ergebnisse von Milovanov, Reichel und Il'in sind in den Bildern 3.2 und 3.3 zusammengefaßt.

Trotz unterschiedlicher Voraussetzungen lassen sich hieraus erste Erkenntnisse über die Restfestigkeit des Verbundes ableiten. Es ist offensichtlich, daß die Haftfestigkeit des Verbundes mit steigender Temperatur beträchtlich abnimmt. Nach [3.1, 3.3] ist sowohl für Normal- als auch für Leichtbeton ab rd. 450 °C kein Haftverbund mehr vorhanden. Die in [3.2] angegebenen Werte erscheinen sehr hoch und können nicht mit dem Vorhandensein einer Querbewehrung erklärt werden. Es ist zu vermuten, daß der Stahl stark vernarbt war. Die Ergebnisse für gerippten Stahl machen den positiven Einfluß des Scherverbundes auf die Verbundverankerung nach einer Temperaturbeanspruchung deutlich.

Für Normalbeton ist bis rd. 350 °C noch kein Absinken der Verbundbruchspannungen zu erkennen. Nach einer Temperaturbeanspruchung von 700 °C werden noch rd. 50 % der Verbundbruchspannung unbeheizter Versuchskörper erreicht.

Il'ins Ergebnisse deuten auf ein günstigeres Verbundverhalten bei Verwendung von Leichtbeton hin.

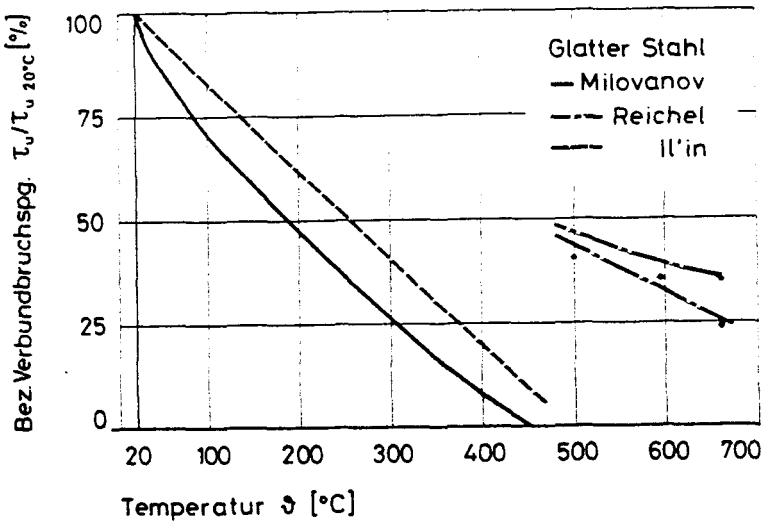


Bild 3.2: Temperaturabhängige Verbundbruchspannungen nach [3.1, 3.2, 3.3] für glatten Betonstahl

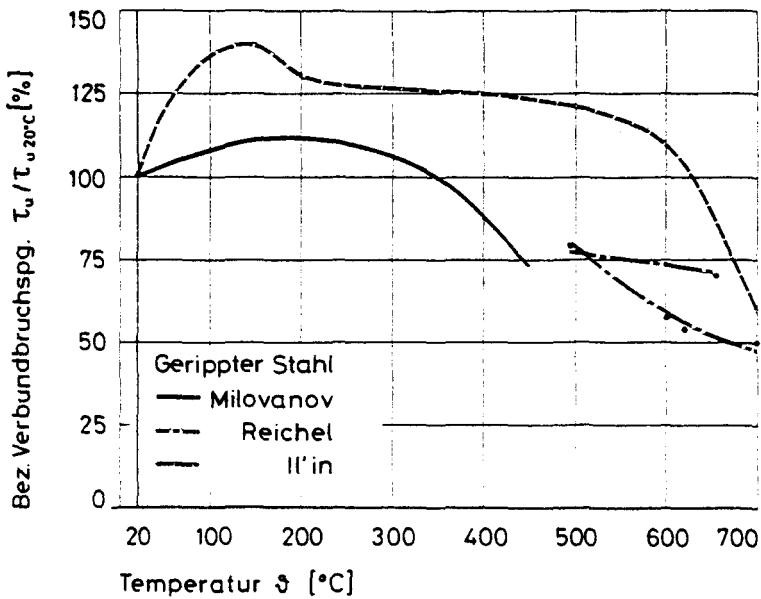


Bild 3.3: Temperaturabhängige Verbundbruchspannungen nach [3.1, 3.2, 3.3] für gerippten Betonstahl

3.2 Untersuchungen der Restfestigkeiten nach langer Temperatureinwirkung

Die nächsten Veröffentlichungen über das Hochtemperaturverbundverhalten stammen aus den Jahren 1971 und 1975. Die Arbeiten von Harada et al. [3.4] und von Kasami et al. [3.5] befaßten sich ebenfalls mit der Restfestigkeit des Verbundes, jedoch nach einer langen Einwirkungszeit hoher Temperaturen. Vergleiche mit anderen Versuchsergebnissen können jedoch nicht vorgenommen werden, da beide Autoren keine Angaben über die verwendeten Stähle und Verbundlängen machten.

Beide Autoren untersuchten zylindrische Versuchskörper, die in Bild 3.4 dargestellt sind. Harada [3.4] verwendete Versuchskörper aus Normalbeton. Sie wurden mit $0,5\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ aufgeheizt und 72 Stunden bei $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ gelagert. Nach einer Abkühlzeit von 48 Stunden wurde bei Raumtemperatur belastet.

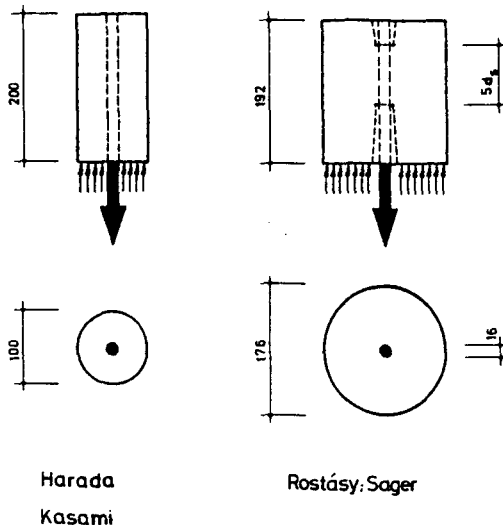


Bild 3.4: Versuchskörper zur Ermittlung der Verbundrestfestigkeit nach langer Temperatureinwirkung nach [3.4, 3.5, 3.6]

Kasami [3.5] untersuchte das Verbundverhalten mit 4 verschiedenen Betonrezepturen, wobei zum einen der Wasser-Zement-Wert und zum anderen der Zementgehalt variiert wurde.

Die Aufheizgeschwindigkeit betrug 10 °C/h. Die Versuchskörper wurden 40 Tage bei 35 °C, 50 °C, 80 °C, 110 °C, 200 °C und 300 °C gelagert und nach einer geregelten Abkühlung mit 10 °C/h bei Raumtemperatur geprüft.

In Bild 3.5 sind Ergebnisse dieser beiden Untersuchungen dargestellt. Bei den bezogenen Restfestigkeiten handelt es sich jedoch um Verbundspannungen, die zu einer Stabendverschiebung von 0,05 mm [3.4] bzw. 0,002 mm [3.5] gehören. Zusätzlich sind die bez. Restfestigkeiten bei einer Stabendverschiebung von 0,05 mm aus eigenen Untersuchungen eingetragen [3.6]. Die verwendeten Versuchskörper sind in Bild 3.4 enthalten und in Kapitel 4 beschrieben.

Dargestellt ist die Verbundrestfestigkeit in bezogener Form. Die Vergleichsgröße wurde an unbeheizten Proben ermittelt. Die Dauer der Temperatureinwirkung ist im logarithmischen Maßstab aufgetragen.

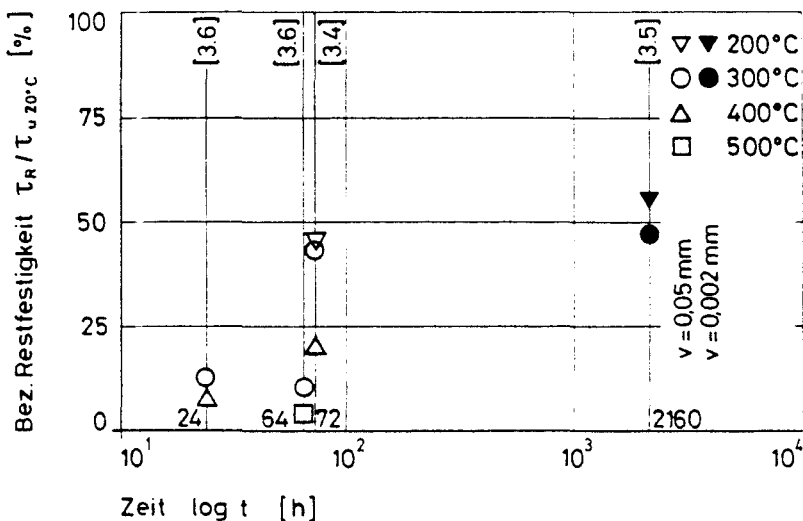


Bild 3.5: Verbundrestfestigkeiten nach langer Temperatureinwirkung nach [3.4, 3.5, 3.6]

Die Ergebnisse sind zwar nicht direkt vergleichbar, der Darstellung ist jedoch zu entnehmen, daß die Verbundfestigkeit mit zunehmender Temperaturstandzeit abnimmt, und zwar um so mehr, je höher die Temperatur gewählt wurde.

3.3 Untersuchung des Verbundverhaltens unter hohen Temperaturen

Ende der siebziger Jahre wurde an mehreren Forschungsinstituten mit der Erforschung des Verbundverhaltens bei hohen Temperaturen begonnen. Es entstanden die Veröffentlichungen von Morley und Royles [3.7] (1979), Hertz [3.8] (1980), Schneider und Diederichs [3.9] (1980), Rostásy und Sager [3.11] (1982).

Die Veröffentlichung [3.7] ist eine Literaturstudie zum Verbundverhalten bei Hochtemperatur. Außerdem enthält sie die Darstellung eines Versuchsprogramms zur Verbunduntersuchung bei hohen Temperaturen. Der Versuchskörper ist in Bild 3.6 dargestellt.

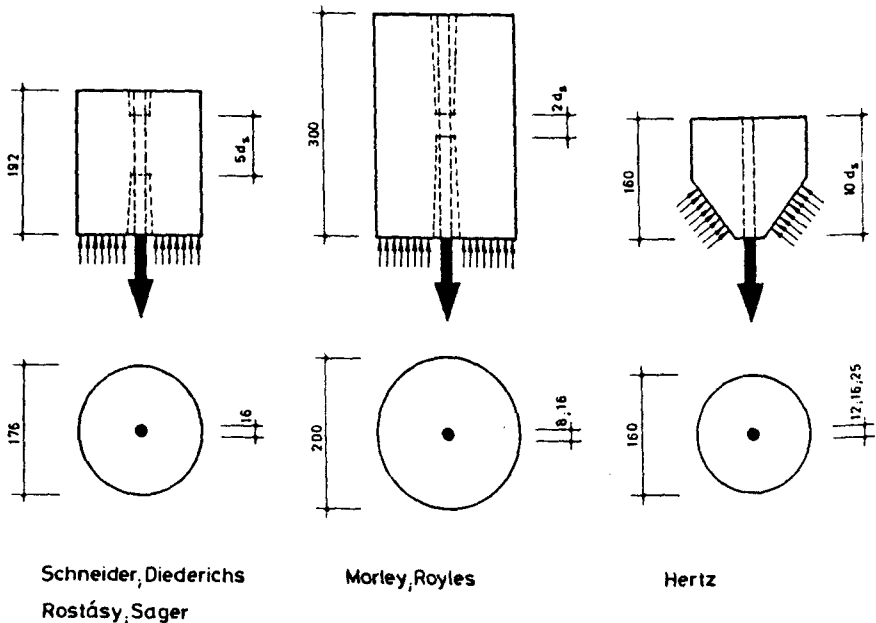


Bild 3.6: Versuchskörper zur Verbunduntersuchung bei hohen Temperaturen nach [3.7, 3.8, 3.9, 3.11]

Hertz [3.8] berichtet über Ausziehversuche nach einer Temperaturbeanspruchung. Im Unterschied zu allen anderen Arbeiten wurde hier ein Versuchskörper verwendet, der mit einem konischen Aufstandsbereich versehen war (s. Bild 3.6). Durch diese Versuchsanordnung sollten Sprengbrüche vermieden werden.

Die von Hertz ermittelten Verbundrestfestigkeiten sind in Bild 3.7 dargestellt.

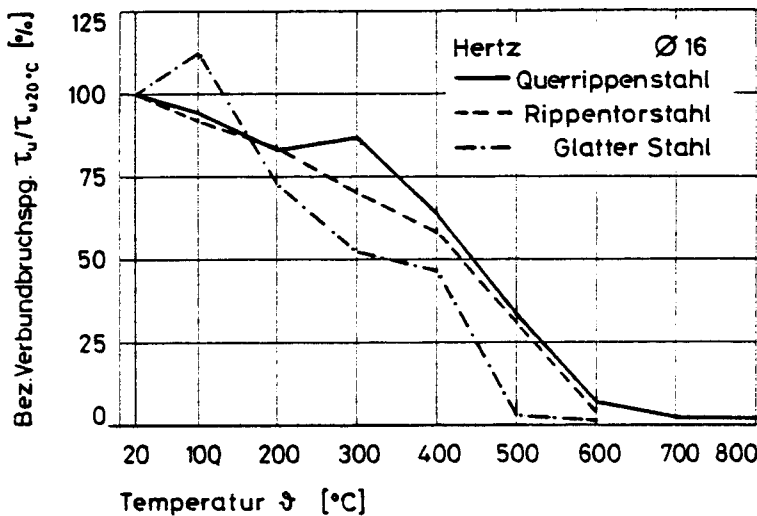


Bild 3.7: Verbundrestfestigkeiten für unterschiedliche Betonstähle nach [3.8]

Auch hier wird deutlich (wie schon in Bild 3.2), daß die Haftfestigkeit glatter Betonstähle mit steigender Temperatur nahezu linear abnimmt und ab rd. 500 °C verschwindet. Die gerippten Betonstähle zeigen hier mit zunehmender Temperatur nahezu die gleiche Entwicklung der Verbundfestigkeiten.

Schneider und Diederichs [3.9] berichten über Verbunduntersuchung bei hohen Temperaturen. Der von ihnen verwendete Versuchskörper ist in Bild 3.6 dargestellt. Die Versuchseinrichtung wird in [3.10] beschrieben. Sie unterscheiden zwei Versuchsmethoden:

- a) Ausziehversuch,
- b) Kriechversuch.

Der Ausziehversuch erfolgte nach dem Aufheizen unter konstanten Temperaturen. Der Kriechversuch wurde unter konstanten Lasten, jedoch mit instationärer Temperatureinwirkung durchgeführt. Die Aufheizgeschwindigkeit betrug $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Typische Versuchsergebnisse der Ausziehversuche bei hohen Temperaturen sind in Bild 3.8 dargestellt.

Schneider und Diederichs führten hierzu aus, daß sich bei gerippten Stählen erst über $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ der Einfluß der Temperatur auf das Last-Verschiebungsverhalten und die maximalen Verbundspannungen deutlich auswirkt.

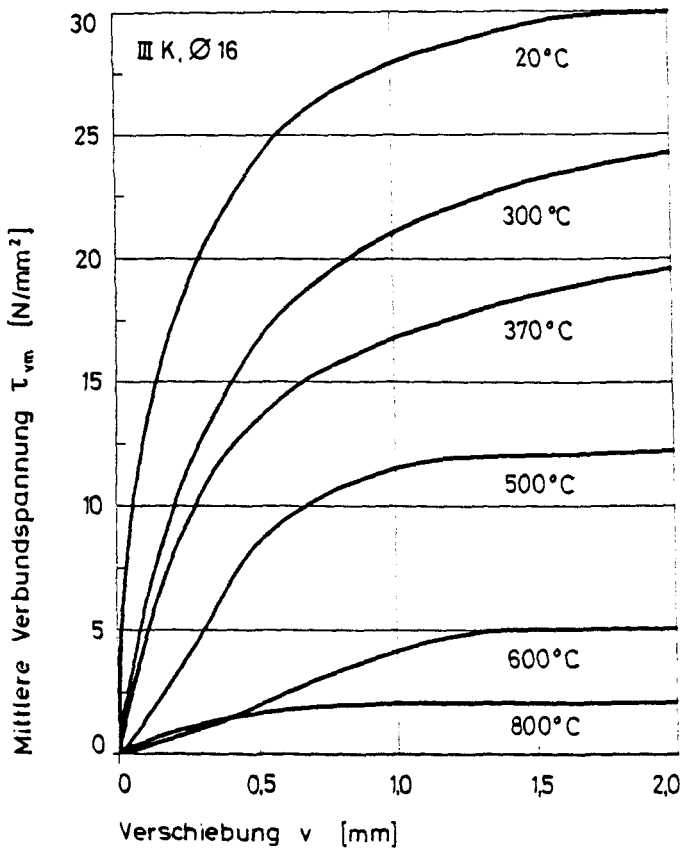


Bild 3.8: Hochtemperaturverbundgesetze nach [3.9]

In Bild 3.9 sind die Versuchsergebnisse von instationären Verbundkriechuntersuchungen [3.9] dargestellt.

Der Parameter P stellt den Lastausnutzungsgrad bezogen auf die Verbundbruchspannung bei 20 °C dar. Hier wird deutlich, daß die Stabendverschiebungen mit steigender Last und Temperatur erheblich zunehmen. Alle Versuche wurden durch Gleitbruch beendet.

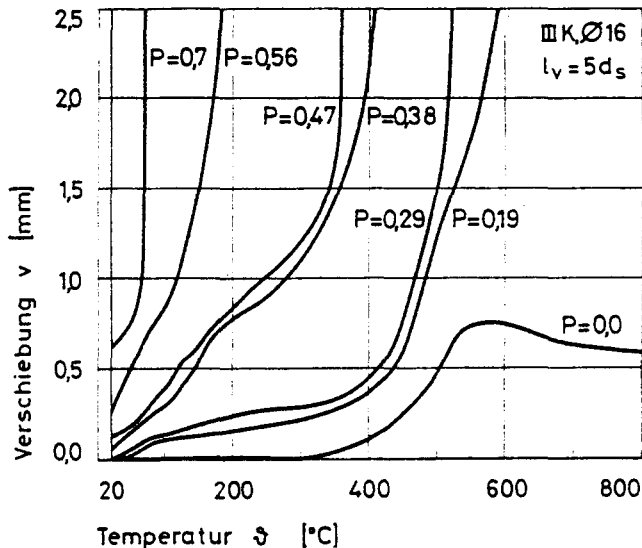


Bild 3.9: Stabendverschiebungen, ermittelt in instationären Verbundkriechversuchen nach [3.9]

Die Veröffentlichungen von Rostásy und Sager [3.6, 3.11, 3.12] sind u. a. Grundlage dieser Arbeit. Eine Darstellung dieser Forschungsergebnisse ist in Kapitel 6 mit enthalten.

Morley und Royles berichten in [3.13] über Versuchsergebnisse von Verbunduntersuchungen bei hohen Temperaturen und im wiedererhalteten Zustand. Der von ihnen ermittelte Einfluß der Temperaturen auf die Verbundbruchspannungen ist in bezogener Form in Bild 3.10 dargestellt. Der Bezugswert ist die Verbundbruchlast bei Raumtemperatur.

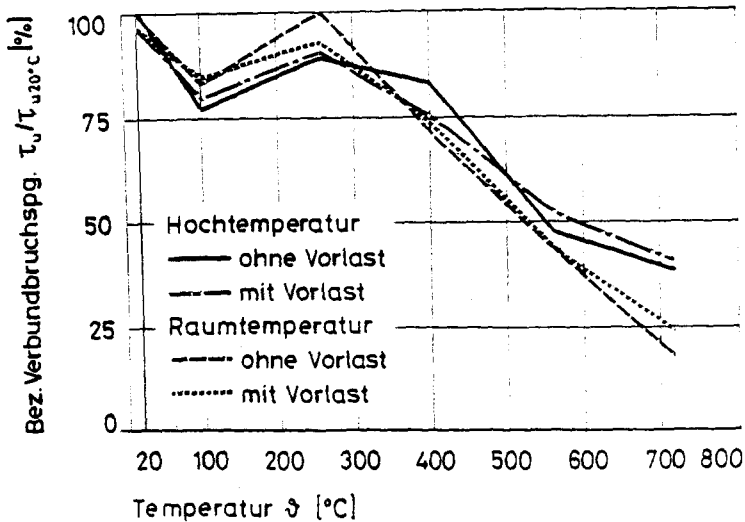


Bild 3.10: Verbundbruchspannungen nach Morley, Royles [3.13]

Aus der Darstellung wird deutlich, daß die im Heißen durchgeführten Versuche bis 300 °C geringfügig niedrigere Verbundbruchspannungen erreichen. Über 300 °C ergeben sich für die im wiedererfalteten Zustand geprüften Versuchskörper die niedrigeren Verbundbruchspannungen. Im Vergleich zur Verbundrestfestigkeit bei 700 °C sind die Hochtemperaturverbundfestigkeiten rd. doppelt so groß. Der Einfluß von Vorlasten auf die Bruchspannungen ist gering.

Zusätzlich wird in [3.13] über Versuche berichtet, die den Einfluß der Betondeckung auf das Verbundverhalten aufzeigen. Morley und Royles benutzten für diese Untersuchungen einen zylindrischen Versuchskörper. Die Variation der Betondeckung wurde mit der Verringerung des Betonmanteldurchmessers vorgenommen.

Die untersuchten Betondeckungen sind Bild 3.11 zu entnehmen. Zusätzlich ist in diesem Bild der grundsätzlich unterschiedliche Versuchskörper zur Untersuchung des Einflusses der Betondeckung dargestellt, der von Rostásy, Sager [3.6] benutzt wurde (s. auch Kap. 4.2).

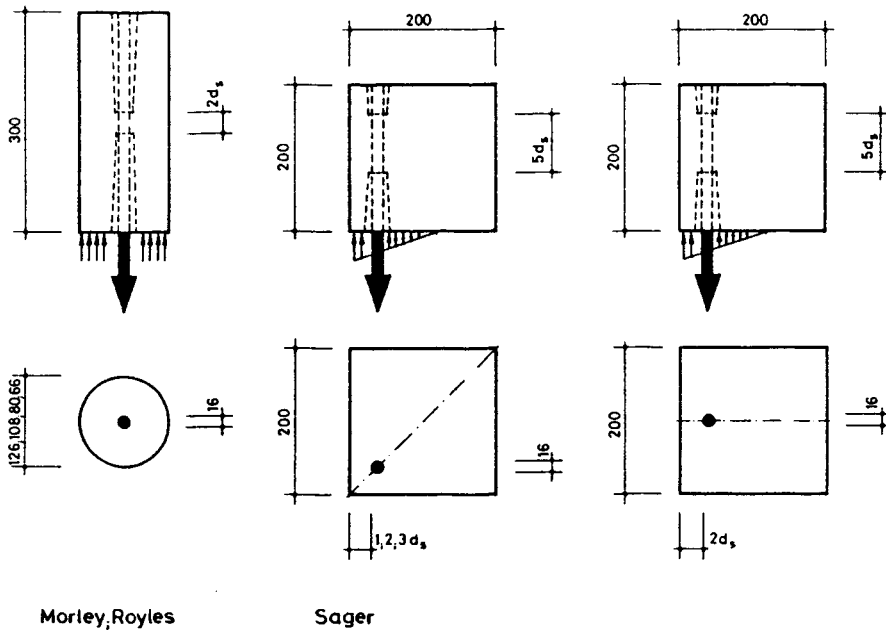


Bild 3.11: Versuchskörper zur Untersuchung des Einflusses der Betondeckung auf das Verbundverhalten nach [3.6, 3.13]

Die in Bild 3.12 dargestellten bezogenen Verbundbruchlasten wurden unter hohen Temperaturen anhand von vorbelasteten Versuchskörpern gewonnen.

Die Darstellung macht deutlich, daß mit Verringerung der Betondeckung die Verbundbruchspannungen beträchtlich absinken. Diese Tendenz bleibt auch bei hohen Temperaturen erhalten. Aufgrund der Vorlasten von rd. 20 % versagte ein Teil der Versuchskörper vor Erreichen der Prüftemperatur durch Kriechbruch. Die Versagensart wechselt jedoch. Bei einer Betondeckung von 55 mm versagten die Versuchskörper durch Gleitbruch, ab 32 mm durch Sprengbruch.

Diederichs [3.14] befaßte sich mit der Frage, ob die in Ausziehversuchen unter hohen Temperaturen ermittelten Last-Verschiebungsbeziehungen als "Grundgesetze des Verbundes bei erhöhten Temperaturen" aufgefaßt werden können. Hierzu ermittelte er

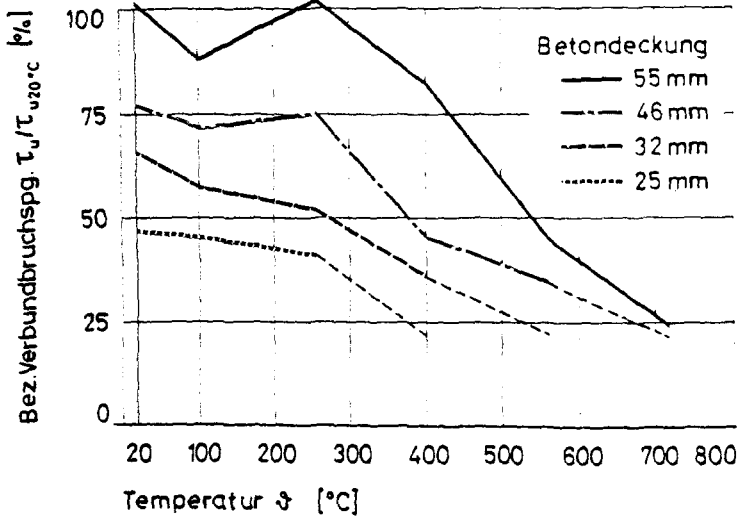


Bild 3.12: Einfluß der Betondeckung auf die Verbundbruchspannungen nach [3.13]

Hochtemperaturverbundgesetze. Der von ihm verwendete Versuchskörper ist in Bild 3.6 dargestellt. Diederichs untersuchte Normalbeton mit Zuschlägen aus Quarzkies und Basalt. Die Betonstähle waren 220/340 GU und 420/500 RK; mit in die Untersuchungen einbezogen wurden profilierte Spannstähle 1470/1670.

Zur Bestimmung der Verteilung der Stahl- und Verbundspannung in der Verbundzone entwickelte Diederichs eine Differentialgleichung des verschieblichen Verbundes für hohe Temperaturen. Sie basiert auf den Annahmen von [2.4], berücksichtigt jedoch das Kriechen des Betons bei hohen Temperaturen sowie die unterschiedliche thermische Dehnung von Beton und Stahl.

Mit den Verbundgesetzen von Bild 3.13 bestimmte er die Verteilung der Stahl- und Verbundspannungen sowie der Stabverschiebungen in der Verbundzone, und zwar für lastfrei und belastet aufgeheizte sowie im aufgeheizten Zustand belastete Versuchskörper.

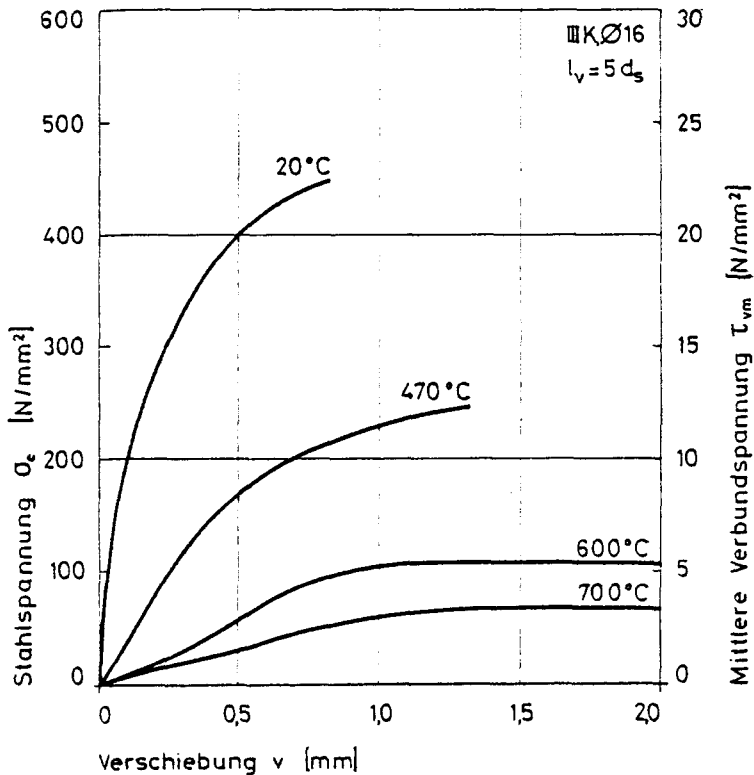


Bild 3.13: Verlauf der Stahlspannung σ_s am belasteten Stahlende und der mittleren Verbundspannung τ_{vm} in Abhängigkeit von der Verschiebung v am unbelasteten Stahlende bei Ausziehversuchen unterschiedlich stark aufgeheizter Proben nach [3.14]

Diederichs konnte nachweisen, daß die Verbundgesetze im wesentlichen durch die unterschiedliche thermische Dehnung von Beton und Stahl beeinflusst werden. Aufgrund dieser Dehnungsunterschiede werden in den Versuchskörper Zwangsspannungen induziert, die u. a. von der Länge der Verbundzone abhängig sind. Diederichs Untersuchungen ergaben, daß im Versuch bestimmte Verbundgesetze nicht generell als "Grundgesetze des Verbundes" angesehen werden können. Er gibt jedoch analytische und graphische Verfahren an, mit denen aus Verbundgesetzen dann "Grundgesetze des Verbundes" zu ermitteln sind.

4. EIGENE VERSUCHE

4.1 Allgemeines

Aus der Sichtung der Literatur wird deutlich, daß die meisten dargestellten Ergebnisse lediglich phänomenologisch den Einfluß der Temperatur auf das Verbundverhalten wiedergeben.

Eine systematische Untersuchung der Einflußparameter auf das Gleit- und Sprengbruchverhalten fehlt ebenso wie eine analytische Beschreibung der Verbundgesetze.

Erste Untersuchungen geben zwar einen Einblick in das Verschiebungsverhalten von Betonstahl in Versuchskörpern unter instationären Temperaturbeanspruchungen, doch auch hier können erst durch systematische Untersuchungen die Gesetzmäßigkeiten herausgestellt und analytisch beschrieben werden. Die eigenen Untersuchungen wurden mit dem im folgenden dargestellten Programm vorgenommen (siehe hierzu auch [4.1]).

4.2 Wahl der Versuchskörper

Wie in Kap. 2 beschrieben, bereitet die wirklichkeitsnahe Prüfung des Verbundes zwischen Bewehrungsstahl und Beton experimentelle Schwierigkeiten, insbesondere wenn die verwinkelten Spannungsverhältnisse in der von Rissen durchsetzten, brandbeanspruchten Zugzone eines Biegetraggliedes in einem einfachen Versuchskörper nachgebildet werden sollen. Aufgrund der Erfahrungen bei Raumtemperatur mit dem einfachen Ausziehversuch wurde auch hier für die vergleichende Parameterstudie der Ausziehversuch gewählt (s. Bild 4.1).

Auch für die Untersuchung des Sprengbruchverhaltens wurde die Versuchsart beibehalten. Die Versuche wurden jedoch im exzentrischen Ausziehversuch durchgeführt, da nur so die während des Aufheizens entstehenden Druckeigenspannungen in Stabnähe annähernd nachgebildet werden können. Bei dem von Morley und Royles [3.13] durchgeführten zentrischen Ausziehversuch mit zylindrischem Versuchskörper unterschiedlicher

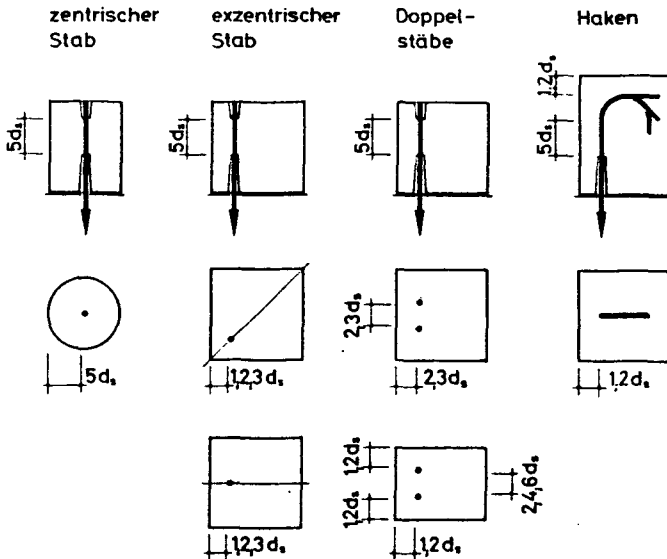


Bild 4.1: Versuchskörper der eigenen Verbunduntersuchungen

Manteldicke liegt der Bewehrungsstab während des Aufheizens in der Zugzone der Eigenspannungen.

Zur Nachbildung der Rand- und Ecklage der Bewehrungsstäbe im Bauteil wurden quaderförmige Versuchskörper gewählt (s. Bild 4.1). Die Bewehrungsstäbe (Einzel- und Doppelanordnungen) wurden exzentrisch betoniert, wobei die Betondeckung durch Verschieben des Stabes entlang der Diagonalen oder der Körpermittellinie variiert wurde. Bei den Doppelstäben wurde außerdem der Einfluß des Stababstandes auf das Verbundverhalten bei konstanten Betondeckungen untersucht.

Auch bei den exzentrischen Versuchskörpern war die verbundfreie Vor- und Nachlänge und die Verbundlänge wie bei den zentrischen Versuchskörpern ausgebildet. Die Bewehrungsstäbe waren senkrecht eingebaut; die Zugrichtung entsprach der Betonierrichtung.

Zur Untersuchung des Lastabtrages und Versagensverhaltens von im Stahlbetonbau üblichen Stabverankerungen wie Haken, Winkelhaken und Schlaufen wurde ebenfalls der normale Ausziehversuch gewählt (s. Bild 4.1).

Die Hakenausbildungen entsprachen DIN 1045 Abs. 18.5. Die Biegedurchmesser d_{br} betrug $4 d_s$. Die Stäbe wurden senkrecht betoniert.

4.3 Parameter der Verbunduntersuchung

Einen kurzen Überblick über das systematische Versuchsprogramm gibt Tabelle 4.1.

<u>Stahlart</u>	[Betonstahl Spannstahl	[glatt gerippt profiliert Litze
<u>Verankerungsart</u>	[gerade Stabenden gebogene Stabenden	[Haftanker Doppelstäbe Haken, Winkelhaken Schlaufen
<u>Zuschlagsart</u>	[Normalzuschlag Leichtzuschlag	[Quarzkies Kalkstein Blähton Blähschiefer
<u>Zementsteinstruktur</u>	[W/Z niedrig W/Z hoch	[B45 B55 B25 LB 25
<u>Lagerungsart</u>	[20 °C / 65 % rel. Feuchte niedriger Wassergehalt 20 °C / 100 % rel. Feuchte hoher Wassergehalt	

Tabelle 4.1: Versuchsprogramm (Schema)

Im folgenden werden die verwendeten Baustoffe beschrieben.

Ausführliche Angaben zu den einzelnen Versuchsserien sind im Anhang aufgeführt.

4.3.1 Stahl

Schon bei Raumtemperatur ergab sich die Stahlgeometrie als der maßgebende Einflußparameter auf das Verbundverhalten.

Eine systematische baupraktische Untersuchung des Temperatureinflusses sollte mit den gebräuchlichsten Beton- und Spannstahlarten Verbundgesetze ermitteln.

Der Einfluß der Temperatur auf den Haftverbund wurde mit dem glatten Betonstahl BSt 220/340 GU erfaßt. Die Untersuchung des Verbundverhaltens gerippter Betonstähle wurde mit Rippenstahl BSt 420/500 RU und Rippentorstahl BSt 420/500 RK vorgenommen, die der Spannstähle mit Spanndraht 1470/1670, rund, profiliert und Litze 1570/1770, 0,5".

Die den Verbund bestimmenden Werte sind in Tabelle 4.2 enthalten. Sie wurden gemäß DIN 488 und DIN ISO 1302 bestimmt.

4.3.2 Beton

Tabelle 4.3 gibt einen Überblick über die Zusammensetzung der Versuchsbetone. Neben der Hauptuntersuchung mit Quarzkiesbeton wurden außerdem Kalkstein, Blähton und Blähschiefer als Zuschlag verwendet.

Der Quarzkieszuschlag war ein Gemisch von runden bis plattigen Sanden und Kiesen aus dem Harzvorland. Der überwiegend kalksteinhaltige Zuschlag entstammte einem Flußkieswerk der Leine. Die beiden künstlichen Leichtzuschläge waren Blähton von LIAPOR bzw. Blähschiefer von BERWELIT.

Bei Raumtemperatur herrscht ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen Verbundfestigkeit und Würfeldruckfestigkeit. Ob dieser Zusammenhang auch für hohe Temperaturen gilt, sollte mit zwei weit auseinanderliegenden Betonfestigkeiten untersucht werden.

Als Zement wurde stets ein Portlandzement PZ 35 F mit einer Normdruckfestigkeit von rd. 50 N/mm² eingesetzt. Um damit auch niederfeste Betone herstellen zu können, mußte der Wasserzementwert w über das bauübliche Maß von $w = 0,60$ hinaus angehoben werden.

	Betonstahl				Spannstahl	
Stahlart	BSt 220/340 (U)	BSt 420/500 RU	BSt 420/500 RU	BSt 420/500 RK	St 1470/1670	St 1570/1770
Form	IG	111 U	111 U	111 K	Sp St	litze
Durchmesser [mm]	16	16	16	16	7,5	12,3
Streckgrenze [N/mm ²]	261	467	430	462	1505	1820
Zugfestigkeit [N/mm ²]	340	680	616	562	1777	1920
E-Modul [N/mm ²]	205.500	200.000	206.800	200.400	208.400	201.000
Rippenhöhe [mm]	8,6 ***	1,27	1,17	1,25	0,13	-
Rippenabstand [mm]	-	9,00	9,20	13,50	8,5	-
Verwindungs- länge [mm]	-	-	-	175	-	195
bez. Rippenfläche [-]	-	0,08	0,07 (0,035) **	0,09	0,008	0,003 *

* nach BIRKENMAIER [4.2] $f_R = \frac{F_R}{\pi \cdot d \cdot l_v}$; $F_R = r_1^2 (5 \cdot \pi - 6\sqrt{3})$ $r_1 = 4,1$ mm

** wurde durch Entfernen jeder zweiten Rippe erzeugt

*** Rauigkeit R_a (DIN-ISO 1302)

Tabelle 4.2: Mechanische Kennwerte der Betonstähle

	Normalbeton				Leichtbeton	
Zuschlagart	Quarzkies		Kalkstein		Blähton	Blähschiefer
Festigkeitsklasse	B 25	B 55	B 25	B 45	LB 25	
Kornzusammensetzung	A ₁₆ /B ₁₆	A ₁₆ /B ₁₆	A ₁₆ /B ₁₆	A ₁₆ /B ₁₆	0/4: 40 Vol.-% 4/8: 20 Vol.-% 8/16: 40 Vol.-%	
Zuschlagmenge [kg]	1920	1790	1920	1790	840	1080
Zementgehalt [kg]	240	400	240	400	370	370
W/Z-Wert	0,90	0,50	0,90	0,50	0,52	0,52
Ausbreitmaß [cm]	39,5	34,0	40,0	31,0	33,0	40,0
B _{W,28} [N/mm ²]	32,0	59,0	29,0	49,0	30,0	36,5
B _{W,VD} [N/mm ²]	35,0	62,5	31,5	53,0	33,0	42,0
B _{SZ,VD} [N/mm ²]	2,46	4,35	2,49	3,24	1,97	2,84

Tabelle 4.3: Zusammensetzung und Festigkeitswerte der Betone

Neben der Sieblinie, dem Wasserzementwert und dem Ausbreitmaß sind alle Festigkeitswerte in Tabelle 4.3 als Mittelwerte der untersuchten Serien enthalten.

4.3.3 Zentrische Ausziehversuche

Aus der Vielzahl der sich ergebenden Kombinationen der verwendeten Stähle und Betone sowie der Lagerungsarten wurde das in Tabelle 4.4 dargestellte Versuchsprogramm durchgeführt. Der Filename in der rechten Spalte weist auf die Datenspeicherung hin. Hierüber sind im Anhang weitere Hinweise zu finden.

4.3.4 Exzentrische Ausziehversuche

Die Untersuchungen an zylindrischen Versuchskörpern sollten in erster Linie das temperaturabhängige Last-Verschiebungsverhalten erhellen.

Ob bei hohen Temperaturen Haftanker mit im Stahlbetonbau üblichen Betondeckungen durch schlagartiges Aufreißen entlang der Stabachse gefährdet sind, sollte mit den exzentrischen Ausziehversuchen geprüft werden.

Für diese Untersuchung wurde hauptsächlich Quarzkiesbeton verwendet. Außerdem beschränkte sich diese Untersuchung auf den Betonstahl III U, $\emptyset 16$, $f_R = 0,07$. Der Hauptteil der Untersuchungen wurde mit Beton B 25 durchgeführt, wobei die Betondeckung überwiegend $c = 2 d_s$ betrug.

Der Umfang der Sprengbruchuntersuchung ist Tabelle 4.5 zu entnehmen.

Stahl		Güte	Zuschlag	Lagerung	Versuchsart			FILENAME
$f_R = 0,09$	IIIK	B 25	Quarzkies	20/100	A	K_i		K/QI/S2
	IIIK	B 25	Quarzkies	20/65	A	K_i		K/QI/S1
	IIIK	B 55	Quarzkies	20/100	A	K_i		K/QII/S2
	IIIK	B 55	Quarzkies	20/65	A	K_i		K/QII/S1
	IIIK	B 25	Kalkstein	20/100	A	K_i		K/KI/S2
	IIIK	B 25	Kalkstein	20/65	A	K_i		K/KI/S1
	IIIK	LB 25	Blähton	20/65	A	K_i		K/LT/S1
	IIIK	LB 25	Blähschiefer	20/65	A	K_i		K/LS/S1
$f_R = 0,08$	IIIU	B 25	Quarzkies	20/65	A	K_i	K_s	U1/QI
	IIIU	B 55	Quarzkies	20/65	A	K_i	K_s	U1/QII
	IIIU	B 25	Kalkstein	20/65	A			U1/KI
$f_R = 0,07$	IIIU	B 45	Kalkstein	20/65	A			U1/KII
	IIIU	B 25	Quarzkies (5 d_s^*)	20/65	A	K_i	K_s	U2/QI
$f_R = 0,035$	IIIU	B 25	Quarzkies	20/65	A			U4/QI
	IIIU	B 25	Quarzkies (2 d_s^*)	20/65	A			U3/QI
$f_R = 0,003$	IG	B 25	Quarzkies	20/65	A			G/QI
Litze $f_R = 0,003$		B 55	Quarzkies	20/65	A	K_i		Li/QII
		B 45	Kalkstein	20/65	A	K_i		Li/KII
SpSt \emptyset 7,5 $f_R = 0,008$		B 55	Quarzkies	20/65	A	K_i		Sp/QII
		B 45	Kalkstein	20/65	A	K_i		Sp/KII

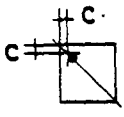

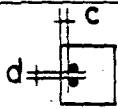
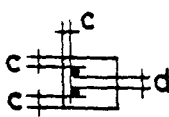
A = Ausziehversuche (liegen in digitaler Form vor)

K_i = instationäre Kriechversuche

K_s = stationäre Kriechversuche

* = Untersuchung des Einflusses der Verbundlänge

Tabelle 4.4: Versuchsprogramm zentrischer Versuchskörper

Betondeckung c		1 d _s	2 d _s	3 d _s
Versuchsart		QI/QII	QI ¹ /QII ²	QI/QII
		QI	QI/QII KI ³ /KII ⁴	
			QI	QI
		QI	QI [*]	QI

^{1, 2, 3, 4} Q = Quarzkies; K = Kalkstein, I = B 25, II = B 55
 * der Stababstand d war konstant; d = 2 d_s

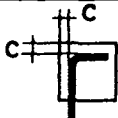
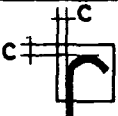
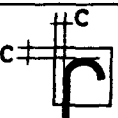
Tabelle 4.5: Übersicht über die Sprengbruchuntersuchungen mit BSt 420/500 RU

4.3.5 Verankerungen

Neben der Untersuchung des Verbundverhaltens von geraden Haftankern und dem Einfluß der Betondeckung auf das Sprengbruchverhalten sollte auch das Verhalten der im Stahlbetonbau üblichen Verankerungsarten unter hohen Temperaturen untersucht werden. Mit in diese Untersuchung einbezogen wurden Haken, Winkelhaken und Schlaufenhaken. Die Versuchskörper sind Bild 4.1 zu entnehmen.

Bei diesen Versuchen wurde, wie bei den exzentrischen Haftankern, hauptsächlich Quarzkiesbeton (B 25) sowie Betonstahl BSt 420/500 RU, Ø 16 mm, $f_R = 0,07$ mit einer Betondeckung

$c = 2 d_s$ untersucht. Jedoch wurden die Ergebnisse durch Untersuchungen mit einem BSt 220/340 GU ergänzt, der nur durch Haken verankert werden darf. Tabelle 4.6 zeigt die untersuchten Verankerungen und Betondeckungen.

Betondeckung c		$1 d_s$	$2 d_s$	$3 d_s$
Versuchsart	 Winkelhaken	III U	IG, III U	III U
	 Haken	III U	IG, III U	III U
	 Schlaufenhaken	III U	IG, III U	III U

IG: BSt 220/340 GU, $\emptyset 16$, $R_a = 8,6$

III U: BSt 420/500 RU, $\emptyset 16$, $f_R = 0,07$

Tabelle 4.6: Untersuchung der Verankerungsarten

4.4 Last-Temperatur-Zeit-Programme

Die Untersuchungen haben zum einen das Ziel, theoretische Betrachtungen zum Verbundverhalten zu ermöglichen bzw. zum anderen die im Brandfall auftretenden Beanspruchungen praxisgerecht zu erfassen.

Diese Ziele erfordern eine unterschiedliche Abfolge von Belastung und Temperaturbeanspruchung.

Im folgenden werden die drei angewandten Last-Temperatur-Zeit-Programme erläutert (s. Bild 4.2).

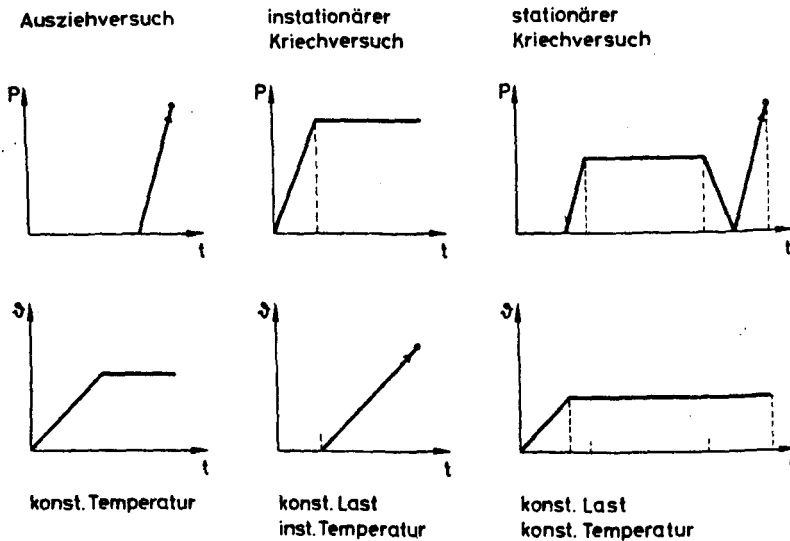


Bild 4.2: Last-Temperatur-Zeit-Programme

4.4.1 Ausziehversuche

Der unbelastete Versuchskörper wurde mit $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ auf eine gewählte Temperatur aufgeheizt. Nachdem diese Temperatur auch in der Verbundzone erreicht war, wurde bis zum Versagen belastet. Die Belastungsgeschwindigkeit betrug $50\text{ N}/\text{mm}^2\text{sec}$.

In einer Nebenuntersuchung wurde das Verbundverhalten im weg-geregelten Versuch studiert. Hierbei wurde die Last nach einer vorgegebenen Geschwindigkeit des Endschlupfes geregelt. Als Schlupfzunahme wurde 1 mm/min vorgegeben.

Diese Belastungsarten stellen isothermische Ausziehversuche dar. Sie erlauben den unmittelbaren Vergleich mit Ergebnissen bei Raumtemperatur.

Die Versuche simulieren jene Verhältnisse im Brandfall, bei denen mäßig oder nicht beanspruchte Verankerungen bzw. Verbundbereiche durch brandbedingte Lastumlagerungen beansprucht werden.

4.4.2 Instationäre Kriechversuche

Der Kriechversuch wurde unter konstanter Last durchgeführt, die vor der Aufheizung aufgebracht wurde. Die Last wird durch den Lastausnutzungsgrad beschrieben, der das Verhältnis der Last zur Verbundbruchlast des Ausziehversuchs bei Raumtemperatur darstellt. Nach dem Belasten wurde die Temperatur mit einer konstanten Aufheizgeschwindigkeit $\dot{\vartheta} = 1 \text{ }^{\circ}\text{C/min}$ bis zum Versagen des Verbundes gesteigert.

Aus dieser Versuchsart sollen Gesetzmäßigkeiten zur rechnerischen Berücksichtigung instationärer Kriechvorgänge erarbeitet werden.

Außerdem werden mit diesen Versuchen die im Bauteil üblicherweise vorhandenen Lastverhältnisse während eines Brandes nachgebildet.

4.4.3 Stationäre Kriechversuche

Bei dieser Versuchsart wurde der Versuchskörper bei einer konstanten Temperatur mit konstanter Last beansprucht. Variiert wurde der Lastausnutzungsgrad, die Temperaturhöhe sowie die Temperatureinwirkungszeit.

Außerdem wurde der Einfluß auf die Reihenfolge der Beanspruchung aus Last- bzw. Temperaturaufbringung untersucht.

In Ergänzung wurden Kriechversuche bei Raumtemperatur durchgeführt.

Eine praktische Entsprechung finden die Versuche in der Beanspruchung eines belasteten Bauteils durch einen Schweißbrand.

4.5 Baustoffuntersuchungen

4.5.1 Baustoffuntersuchungen bei Raumtemperatur

Bei jeder Betonage wurden Begleitkörper hergestellt. Anhand von 6 Würfeln 15 cm x 15 cm x 15 cm wurde die Druckfestigkeit nach 28 Tagen sowie vor Versuchsdurchführung ermittelt. Mit drei Spaltzugzylindern \varnothing 15 cm x 30 cm wurde die Zugfestigkeit vor Versuchsdurchführung bestimmt.

Die Festigkeitswerte der Betonstähle sowie deren bezogene Rippenflächen wurden stichprobenartig ermittelt.

4.5.2 Baustoffuntersuchungen bei Hochtemperatur

Die temperaturabhängigen Materialkennwerte von Beton und Stahl konnten von den Teilprojekten B 3: "Hochtemperaturverhalten von Festbeton" und B 4: "Festigkeits- und Verformungsverhalten von Bau-, Beton- und Spannstählen bei hohen Temperaturen" des Sonderforschungsbereichs 148 "Brandverhalten von Bauteilen" (SFB) übernommen werden.

Die Ermittlung dieser Daten wird in den Arbeitsberichten des SFB [4.3, 4.4, 4.5] beschrieben.

Wie [4.4] zu entnehmen ist, bestimmt das thermische Dehnverhalten der Zuschläge den Wärmedehnkoeffizienten des Betons. Für den konkreten Anwendungsfall sollte das thermische Dehnverhalten des jeweils verwendeten Betons ermittelt werden, um allzu grobe Abschätzungen zu vermeiden. Im Rahmen dieser Arbeit werden mit dem in [4.3] beschriebenen Hochtemperaturdilatometer die Wärmedehnkoeffizienten der verwendeten Baustoffe gesondert bestimmt.

Die Zugfestigkeit von Beton unter hohen Temperaturen oder nach einer Temperaturbeanspruchung ist wenig erforscht. Über Hochtemperatur-Spaltzugversuche berichtet Thelanderson [4.6]. Eine allgemeine Übersicht ist in [4.5] enthalten.

Um für die eigenen Untersuchungen erste Aussagen über die Zugfestigkeit machen zu können, wurden die Versuchskörper nach dem Ausziehversuch gespalten. Die dabei ermittelte Bruchlast wurde auf die gesamte Spaltfläche bezogen. Eine Zusatzuntersuchung befaßte sich mit der Entwicklung der Spaltzugfestigkeit der verwendeten Quarzkiesbetone unter hohen Temperaturen. Hierzu wurden zylindrische Versuchskörper (\emptyset 15 x 30 cm) mit 2 °C/min aufgeheizt und anschließend, wärmeisoliert mit einem Spezialbehälter, außerhalb des Ofens geprüft.

Um die Restfestigkeiten der Versuchskörper mit den Spaltzugfestigkeiten vergleichen zu können, wurden ebenfalls Restspaltzugfestigkeiten an Normzylindern ermittelt.

5. Versuchseinrichtungen

5.1 Allgemeines

Zur Durchführung von Ausziehversuchen unter hohen Temperaturen müssen die Versuchskörper geregelt aufgeheizt werden können. Temperaturunterschiede über die Höhe des Versuchskörpers sollten gering gehalten werden. Es ist außerdem erforderlich, die erreichte Temperatur auch über Stunden konstant einzuhalten.

Instationäre Kriechversuche erfordern die Einhaltung einer konstanten Belastung bei steigenden Temperaturen. Die Meßwerte wie Stabverschiebung, Last und Temperatur müssen jederzeit gesichert erfaßt werden können. Sie dürfen nicht "undefiniert verfälscht" werden.

Diese Anforderung an eine Versuchseinrichtung konnte von bestehenden Anlagen nicht erfüllt werden. Es war somit erforderlich, neue Versuchseinrichtungen zu erstellen.

5.2 Verbundprüfeinrichtungen

Für zentrische Ausziehversuche entwickelten Schneider und Diederichs eine Hochtemperaturverbundprüfeinrichtung, die den unter 5.1 beschriebenen Anforderungen entsprach.

Servohydraulische Belastung und Dreizonenheizung arbeiten im geschlossenen Regelkreis. Die Meßwerterfassung ist außerhalb des Ofens und damit von der Temperatur unbeeinflußt. Die Prüfeinrichtung ist in [3.10] genauer beschrieben.

Diese Anlage war zur Durchführung exzentrischer Versuche mit Einzel- und Doppelstäben nicht geeignet. Es war somit erforderlich, für die exzentrischen Ausziehversuche eine weitere Verbundprüfeinrichtung zu entwickeln, wobei auf vorliegende Erfahrungen zurückgegriffen werden konnte. Der Aufbau dieser Ausziehanlage ist in Bild 5.1 schematisch dargestellt.

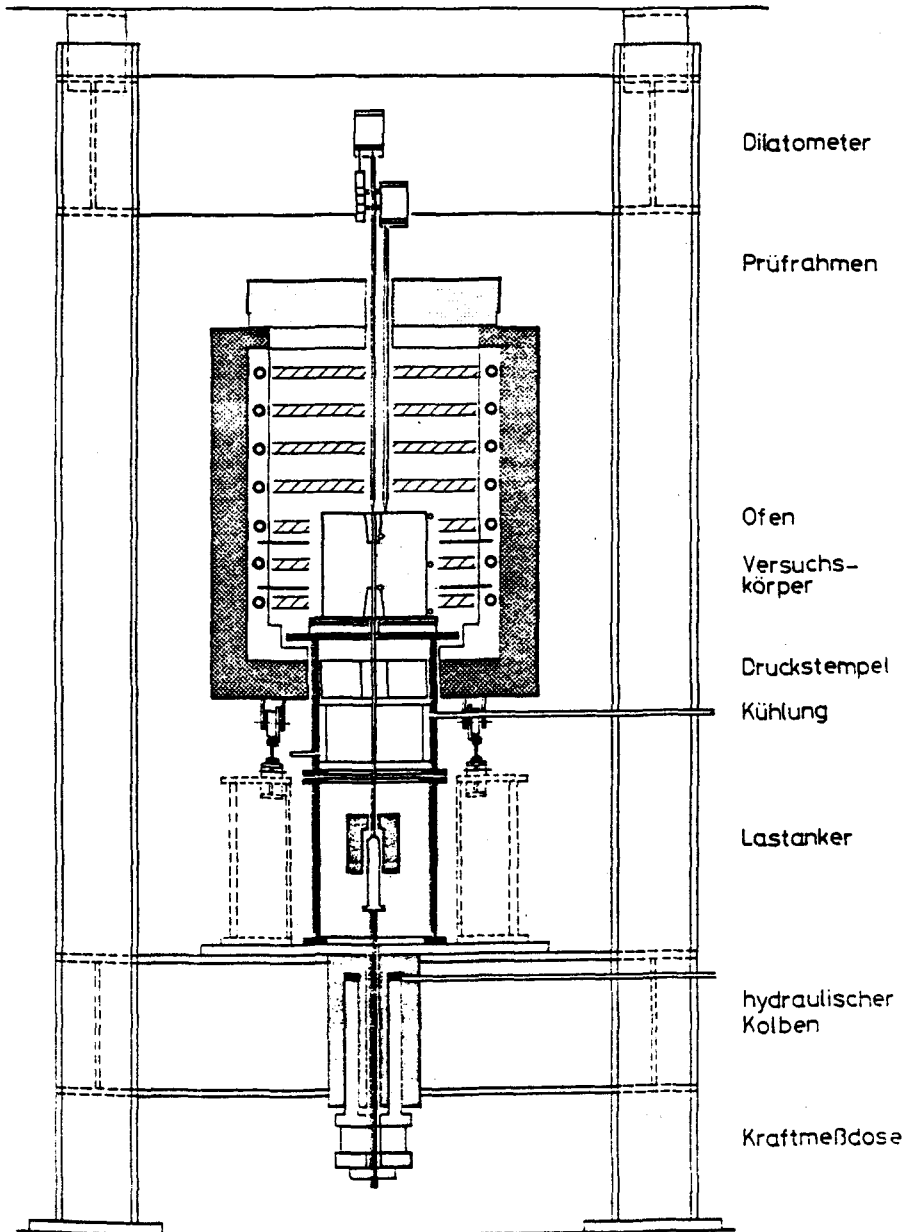


Bild 5.1: Ausziehanlage für exzentrische Versuche

Diese Anlage wird im folgenden in ihrem Aufbau kurz beschrieben.

5.2.1 Belastungseinrichtung

Die Last wird durch einen eingeschliffenen Hohlkolben aufgebracht. Der Hohlkolben ist mit der Grundplatte des Prüfraumenunterriegels verschraubt. Zwischen Hohlkolben und Zugstaberankerung ist eine Ringkraftmeßdose (GK 0,05) angeordnet. Am oberen Ende des Zugstabes ist der gelenkig gelagerte Lastanker befestigt. Er kann für die jeweilige Anzahl der Bewehrungsstäbe im Versuchskörper ausgewechselt werden. Die Einzelstäbe wurden in einem Glockenanker, die Doppelstäbe in einem Barrenanker gefaßt.

Das Kernstück der Belastungseinrichtung ist der dreiteilige Druckstempel. Das Unterteil besteht aus zwei Halbzyllindern, die auf der Grundplatte mit Spindeltrieb bewegt werden können. Somit ist es möglich, ungehindert die Anker zu wechseln und auch die Bewehrungsstäbe an den Zugstab zu koppeln. Die Koppelung erfolgt mit handelsüblichen Paulsklemmen. Zwischen Paulsklemme und Anker sind Kugelkalotten angeordnet.

Mit dem Oberteil des Druckstempels ist die Tragplatte für die Versuchskörper verschweißt. Dieses Teil ist im Ofen angeordnet und hat zum Schutz gegen Verbrennungen einen wassergekühlten Innenmantel. Über dem Innenmantel ist in Höhe des Ofenbodens eine den Stempel ausfüllende 10 cm dicke Wärmedämmung angeordnet.

Wenn der Ofen bewegt wird, lagert die Tragplatte auf dem Ofenboden und trägt den Druckstempel. Der Ofen selbst ist für die hohen Lasten des Ausziehversuchs nicht ausgelegt.

Beim Versuch werden die Lasten über den zusammengefügt Druckstempel auf die Grundplatte gebracht. Hierzu wird vorher der gesamte Ofen mit Druckstempeloberteil und Versuchskörper von kleinen hydraulischen Stempeln angehoben. Dann wird der Bewehrungsstab angekoppelt und - falls erforderlich -

eine Verschiebungsmeßeinrichtung eingebaut. Anschließend werden die Halbzylinder zusammengefahren und der Ofen abgesetzt. Nun lagern die Druckstempelteile aufeinander und werden mit einem Spannring gesichert. Der Ofen ist nun auch während des Versuchs lastfrei.

Der Kolbendruck wird servohydraulisch über ein Pumpenaggregat aufgebracht. Die Pumpe wird von einer für die Anlage entwickelten Steuereinrichtung gefahren. Steuereinrichtung, Pumpe und Kraftmeßdose (bzw. Wegaufnehmer am Kolben) bilden einen Regelkreis. Als Sollwertgeber dient ein Regelgenerator, der es ermöglicht, kraft- und kolbenweggesteuerte Versuche durchzuführen.

5.2.2 Ofen und Heizregelung

Zur gleichmäßigen Aufheizung der Versuchskörper ist der Ofen in drei übereinander angeordnete Heizzonen eingeteilt. Die Temperatur wird für jede Heizzone getrennt mit Thermoelementen erfaßt. Die Trennung der Zonen erfolgt mit Hilfe von Konvektionsbrettern aus dünnen PROMATECT-Brandschutzplatten, die auf den Versuchskörper und Ofen zugeschnitten werden. Der Ofen ist auf Schienen horizontal verfahrbar.

Die Temperaturregelung erfolgt getrennt für jede Heizzone elektronisch im Regelkreis. Als Istwertgeber dient das Zonen-thermoelement; der Sollwert wird von der Regeleinheit vorgegeben. Ein Führungsregler liefert die Impulse für den von Thyristorstellgliedern gesteuerten Ofen.

5.3 Meßsysteme und Meßwerterfassung

5.3.1 Wegmessung

Zur direkten Wegmessung sollten die Wegänderungen mit elektrischen Aufnehmern kontinuierlich erfaßt werden. Da die handelsüblichen Wegaufnehmer nicht temperaturbeständig sind, müssen sie außerhalb des Ofens angeordnet werden. Die Verschiebungen müssen dann über temperaturinvariante Hilfsmittel

zu den Wegaufnehmern übertragen werden. Hierzu eignet sich besonders ein Kieselglas, das temperaturbeständig ist und dessen Wärmedehnung gering ist, hier im folgenden als Quarzglas bezeichnet.

Bei Ausziehversuchen wird üblicherweise die Relativverschiebung zwischen Stahl und Beton bestimmt. Die Verschiebungen müssen getrennt mit je einem Quarzglaselement erfaßt werden. Das eine Quarzglaselement trägt den Wegaufnehmer und mißt relativ gegen das andere. Dies hat den Vorteil, daß die Eigendehnungen des Quarzglassystems vernachlässigt werden können. Für die Wegmessung unter hohen Temperaturen stehen zwei unterschiedliche Quarzglassysteme zur Verfügung:

- Parallellenkler - Quarzstabdilatometer,
- Spiralfeder - Röhrendilatometer.

Das Quarzstabdilatometer ist in [3.10] ausführlich beschrieben. Da bei Belastung der exzentrischen Versuchskörper geringe Setzungen auftreten, die von dem ortsfesten Parallellenklersystem mit Doppelstäben je nach deren Stellung mal als positive oder negative Stabendverschiebung erfaßt werden, mußte ein neues Meßsystem entwickelt werden. An dieses wurden außerdem folgende Forderungen gestellt:

- sehr schmale Bauweise, um auch bei Doppelstäben mit einem Stababstand $a = 2 d_s$ die Relativverschiebungen getrennt aufzunehmen.
- Das System sollte waagrecht und senkrecht von oben und unten einsetzbar sein.

Aufgrund dieser Anforderungen wurden drei vom Prinzip her ähnliche Röhrendilatometer entwickelt. Der Aufbau dieser Systeme ist in Bild 5.2 schematisch für den Versuch mit Winkelhaken dargestellt.

- Stehendes Röhrendilatometer (oben):

Das System steht mit einem schweren Quarzglasblock auf dem Beton. Der Block hat eine konische Bohrung zur Aufnahme der Quarzglasröhre. In der Röhre, von drei Zentrierringen längs-

verschieblich gehalten, befindet sich der Quarzglasstab, der den Bewehrungsstab antastet. Außerhalb des Ofens, mit Federn gegen die Röhre gespannt, befindet sich die Halterung für den Wegaufnehmer. Sie ist eine Messingscheibe, die auf der Seite der Röhre ballig gearbeitet ist. Dadurch zentriert sich die Halterung unter der Federkraft selbst.

Die Spitze des Wegaufnehmers tastet den Quarzglasstab an. Zwischen Halterung und oberem Zentrierring befindet sich eine Feder, die den Glasstab gegen den Bewehrungsstab drückt.

Das System wird zwischen den beiden oberen Zentrierringen mit Preßluft gekühlt.

Der Ofen ist mit einer am Glassystem dicht anschließenden rollend gelagerten Dämmplatte vor Wärmeverlusten geschützt.

- Horizontales Röhrendilatometer:

Dieses System unterscheidet sich vom Stehenden nur durch seine Lagerung. Es ist horizontal verschieblich auf Rollen gelagert und wird insgesamt durch eine Feder gegen den Versuchskörper gedrückt. Diese Feder ist in einem Doppelzylinder angeordnet. Auf der einen Seite ist der Zylinder durch eine Halterung des Wegaufnehmers und auf der anderen durch eine Ringscheibe abgeschlossen.

Die Ringscheibe und das Rollenlager sind mit dem höhenverstellbaren Widerlager verschraubt.

- Vertikales Röhrendilatometer:

Um auch die Stabanfangsverschiebung bei Winkelhaken messen zu können, wurde an den Stab in der verbundfreien Vorlänge ein Stahlring angeheftet. Der Stahlring wird von einer Quarzglasröhre angetastet. Das andere Ende der Glasröhre befindet sich in der Nut einer Stahlscheibe. Röhre und Scheibe werden von einer Feder nach oben gedrückt, die sich auf eine Paulsklemme abstützt. Die Paulsklemme ist am Bewehrungsstab verkeilt. Der Federweg ist groß ausgelegt, um die Dehnung des Bewehrungsstabes zwischen Paulsklemme und Stahlring zu überbrücken.

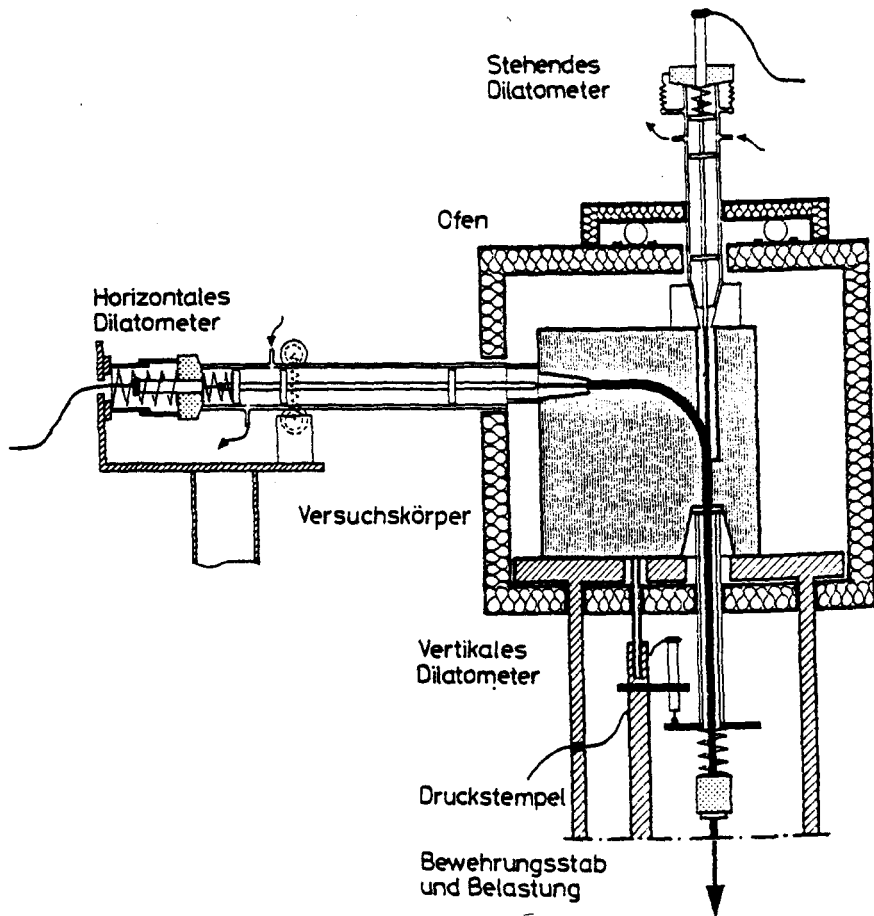


Bild 5.2: Schematische Darstellung des Aufbaus der drei Röhren-
dilatometer zur relativen Verschiebungsmessung

Gegen die Stahlscheibe wird der Taststift des Wegaufnehmers gedrückt. Der Wegaufnehmer ist an einem zweiteiligen Stab befestigt. Das obere Ende ist aus Quarzglas und stützt sich am Versuchskörper ab, das untere Ende ist aus Stahl und federnd auf der Grundplatte des Belastungsgerüsts gelagert. Das gesamte System befindet sich im Druckstempel.

5.3.2 Kraftmessung

Zur Kraftmessung und Regelung wurde eine Ringkraftmeßdose der Firma Hottinger C 20, GK 0,05 eingesetzt.

5.3.3 Temperaturmessung

Die Temperaturen wurden mit zwei unterschiedlichen Thermo-
elementen aufgenommen.

Die Istwerterfassung zur Regelung der Ofentemperatur erfolgte mit Ni-CrNi-Elementen gemäß DIN 47130. Diese Thermoelemente waren auf ein Kupferplättchen geheftet und mit Draht an der Oberfläche des Versuchskörpers befestigt.

Die Temperatur in der Verbundzone entlang des Bewehrungsstabes wurde mit Fe-Konst.-Elementen gemäß DIN 43710 bestimmt. Sie waren mit Draht am Stab befestigt; die Meßperle berührte den Stahl jedoch nicht.

5.3.4 Meßwerterfassung

Die Weg- und Kraftsignale wurden mit Meßverstärkern der Firma Hottinger (KWS 3071; 3050) verstärkt und mit 2-Kanal-Linienschreibern der Firma Philips aufgezeichnet. Außerdem wurden die Ausziehversuche mit Y_1 - Y_2 -X-Schreibern der Firma Philips erfaßt.

Die Temperaturen wurden von einem temperaturkompensierten 12-Punkt-Drucker der Firma Philips kontinuierlich mitgeschrieben.

6. VERSUCHSERGEBNISSE

6.1 Allgemeines

Eine Darstellung der in Kap. 4 beschriebenen Versuchsprogramme erfolgt hier in einer zusammenfassenden Gegenüberstellung und soll somit nur einen kurzen Überblick vermitteln. Die Einzelergebnisse der Serien sind ausführlich im Anhang beschrieben.

6.2 Thermische Dehnungen

Bei Raumtemperatur und im Bereich normaler Temperaturschwankungen sind die Wärmedehnkoeffizienten von Beton und Stahl nahezu gleich.

Mit steigender Temperatur treten jedoch zwischen ihnen beträchtliche Unterschiede auf. Dieser Umstand führt bei Stahlbeton zu einem inneren Zwang, da die beiden Baustoffe durch den Verbund fest miteinander gekoppelt sind.

Die thermischen Dehnungen der verwendeten Betone sind in Bild 6.1 und die der Stähle in Bild 6.2 dargestellt. Das Dehnverhalten der Normalbetone ist bis 400 °C nahezu gleich. Ab 400 °C dehnt sich Quarzkiesbeton deutlich stärker als Kalkstein- und Leichtbeton und erreicht bei 620 °C ein Dehnungsmaximum. Der Leichtbeton weist die geringsten Dehnungen auf.

Das Dehnverhalten der Betone wird im wesentlichen beeinflusst durch die Dehnungen der Zuschläge. Nach [4.3] zeigt Kalkstein bis 800 °C eine monotone Dehnungszunahme. Bei Zuschlägen, die vorwiegend Quarz enthalten, nimmt die Dehnung zwischen 550 °C und 600 °C wegen der α - β -Umwandlung des Quarzes deutlich zu.

Die verwendeten Stähle weisen bis 700 °C nahezu gleiches Dehnverhalten auf. Erst über 700 °C unterscheiden sich die Dehnungen deutlich. Dieser Bereich ist für die Verbunduntersuchungen jedoch nicht mehr von Bedeutung, weil er jenseits der kritischen Stahltemperatur liegt.

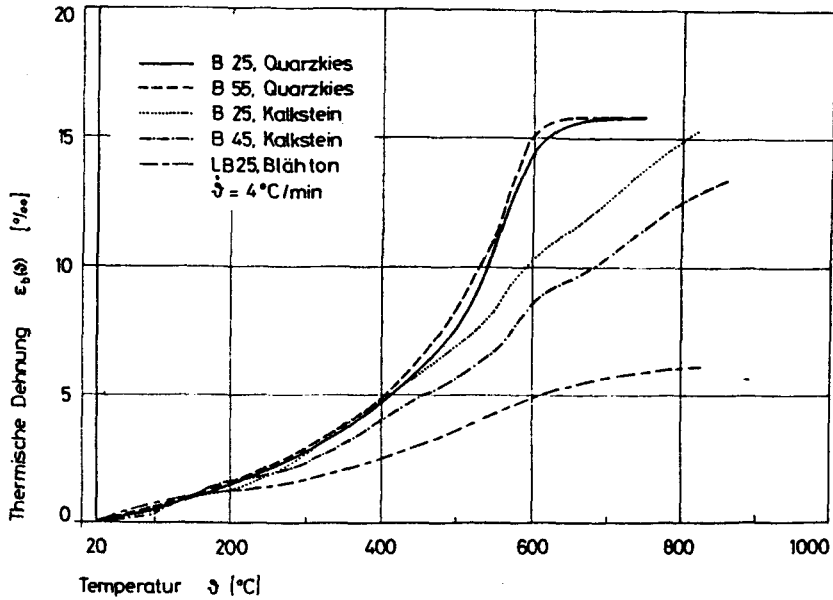


Bild 6.1: Thermische Dehnung der Betone

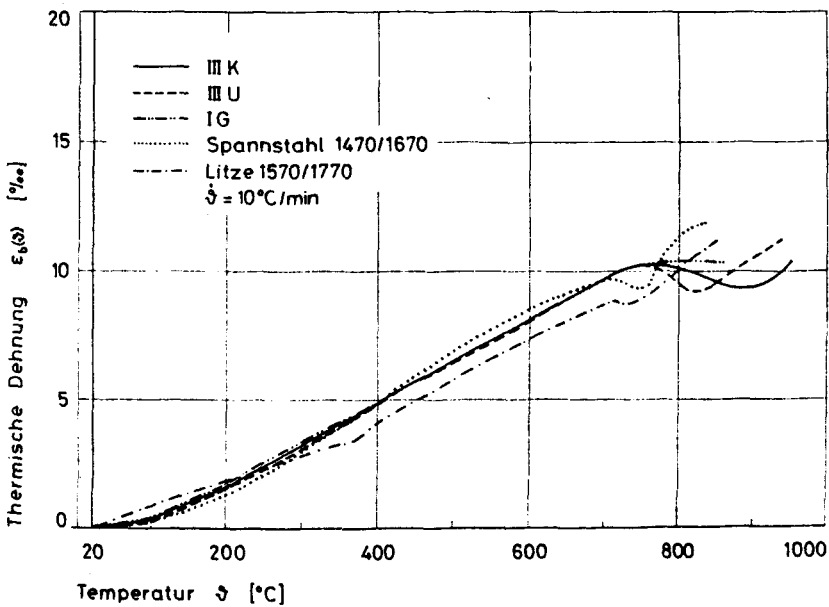


Bild 6.2: Thermische Dehnung der Stähle

Für den inneren Zwang in Verbundbaustoffen sind nicht die thermischen Dehnungen der Baustoffe an sich, sondern deren Differenzen maßgebend. In Bild 6.3 sind die Differenzdehnungen $\Delta\epsilon(\vartheta) = \epsilon_b(\vartheta) - \epsilon_e(\vartheta)$ von Quarzkies- und Kalksteinbeton sowie Beton- und Spannstahl dargestellt. Bis rd. 400 °C sind die Differenzdehnungen im allgemeinen noch klein. Es tritt jeweils ein positives und negatives Maximum von rd. 0,5 ‰ auf. Erst über 400 °C nehmen die Differenzdehnungen erheblich zu. Bei rd. 600 °C werden mit Quarzkiesbeton Differenzdehnungen von rd. 6,5 ‰ erreicht, mit Kalksteinbeton jedoch nur rd. 2,2 ‰. Dem Stahl werden somit in beiden Fällen Dehnungen aufgezwängt, die unter Annahme vollen Verbundes auch bei hohen Temperaturen zu plastischen Verformungen führen könnten.

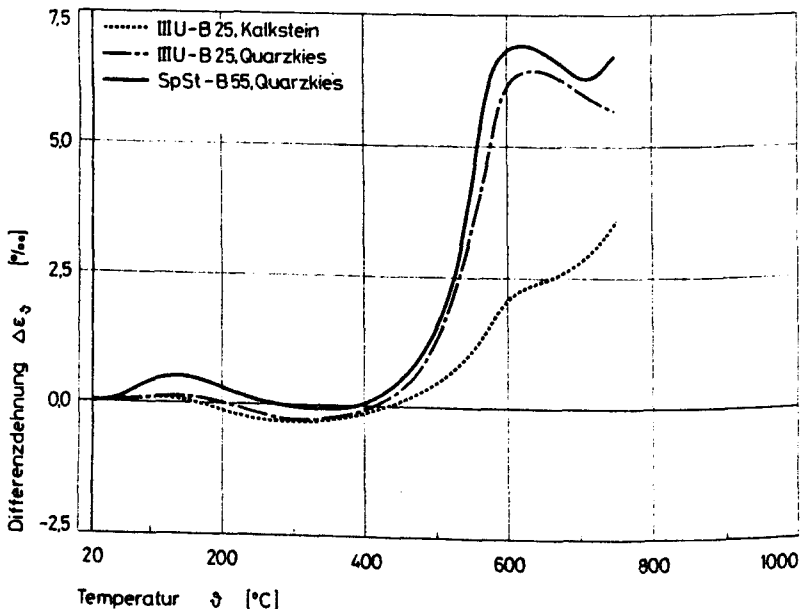


Bild 6.3: Differenzdehnungen von Beton und Stahl

6.3 Spaltzugfestigkeit

In Bild 6.4 sind die temperaturabhängigen Spaltzugfestigkeiten der Quarzkiesbetone dargestellt. Die unter hohen Temperaturen ermittelten Festigkeiten wurden auf den Vergleichswert bei Raumtemperatur bezogen. Mit steigender Temperatur tritt ein Abfall in der Spaltzugfestigkeit ein, der für B 25 und B 55 nahezu gleich ist.

Auffallend ist hier das "Festigkeitsloch" bei 150 °C. Es läßt die Vermutung zu, daß trotz der zweistündigen Lagerung unter hoher Temperatur noch Wasserdampfdruck vorhanden war. Die Überlagerung der Beanspruchung aus Dampfdruck und Lastspannung beeinflußt die ermittelte Festigkeit.

Zum Vergleich wurde die Druckfestigkeitsentwicklung nach [4.3] mit eingetragen. Die temperaturabhängige Entfestigung bei Druckbeanspruchung unterscheidet sich von der Spaltzugfestigkeit. Eine deutliche Abminderung der Druckfestigkeit tritt erst ab 300 °C auf.

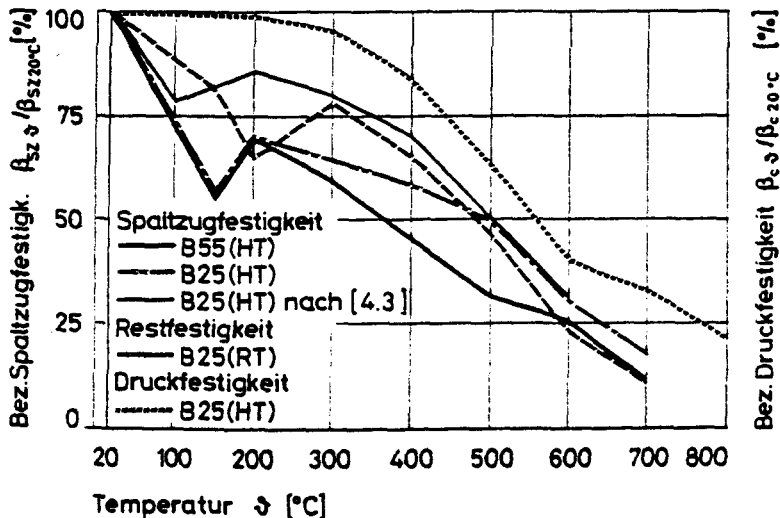


Bild 6.4: Temperaturabhängige bezogene Spaltzugfestigkeiten von Quarzkiesbeton

6.4 Temperaturabhängige Verbundgesetze der zentrischen Ausziehversuche

6.4.1 Allgemeines

Die im folgenden dargestellten Verbundgesetze wurden in kraftgeregelten Versuchen ermittelt. Sie sind in bezogener Form als Mittelwertkurven dargestellt. Der Bezugswert ist die Verbundbruchspannung bei Raumtemperatur. Die eng zusammenliegenden Verbundgesetze von 20 °C bis 300 °C bzw. 400 °C wurden mit einem schraffierten Bereich zusammengefaßt.

Die Versuchsergebnisse der einzelnen Serien entsprechend Tab. 4.4 sind im Anhang dargestellt. Dort sind weitere Angaben wie z. B. über Anzahl der Versuche, Streuungen und Varianz aufgeführt.

6.4.2 Einfluß der Stahlart

In Bild 6.5 sind die Verbundgesetze für Rippentorstahl und Rippenstahl gegenübergestellt.

Der Anteil der Schrägrippen an der bezogenen Rippenfläche war bei beiden Stählen nahezu gleich. Durch die umlaufenden Längsrippen erhöht sich beim Stahl III K die bezogene Rippenfläche auf $f_R = 0,090$. Bei Raumtemperatur hat dies im Bereich der für Rißbetrachtungen üblichen Stabendverschiebungen von rd. 0,2 mm keinen Einfluß.

Betrachtet man hingegen Versagenszustände, so zeigen sich deutliche Unterschiede. Bei hoher Lastausnutzung weisen die Rippentorstähle deutlich größere Verschiebungen auf; die Bruchverschiebungen sind nahezu doppelt so groß wie die des Stahles III U. Bei hohen Temperaturen sinkt die Verbundbruchspannung des III U deutlich stärker ab als die des III K-Stahles.

Bild 6.6 zeigt im Vergleich das Verbundverhalten gerippter und glatter Betonstähle. Die Verbundgesetze des glatten Betonstahls zeigen deutlich die Abnahme des Haftverbundes mit steigender Temperatur. Durch den anschließenden Reibungsverbund ist keine nennenswerte Verbundspannungssteigerung mehr möglich. Der Haftspannungsanteil bei den gerippten Betonstäh-

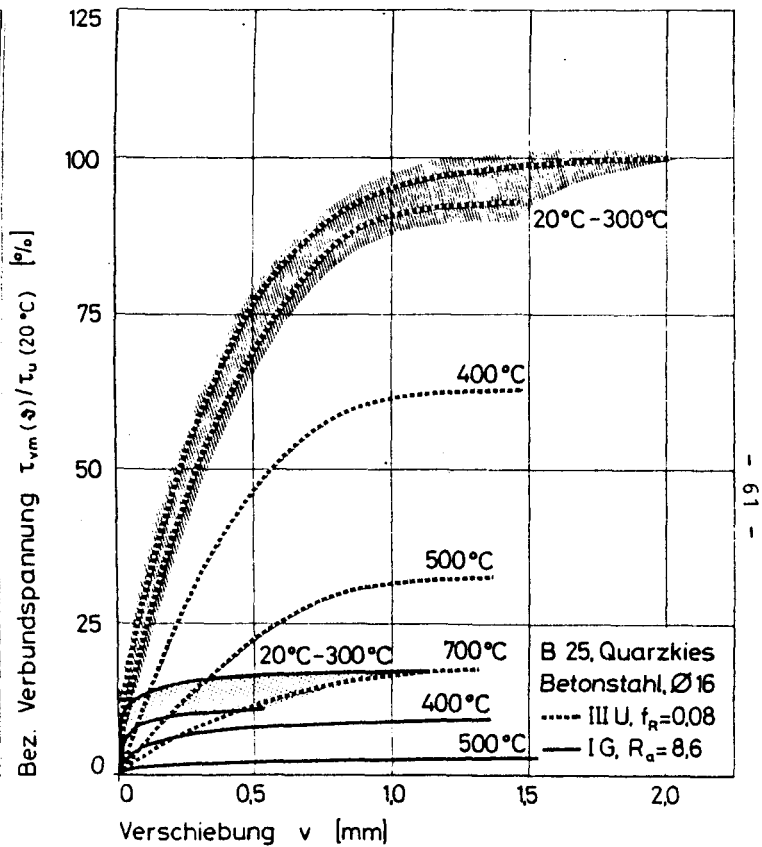
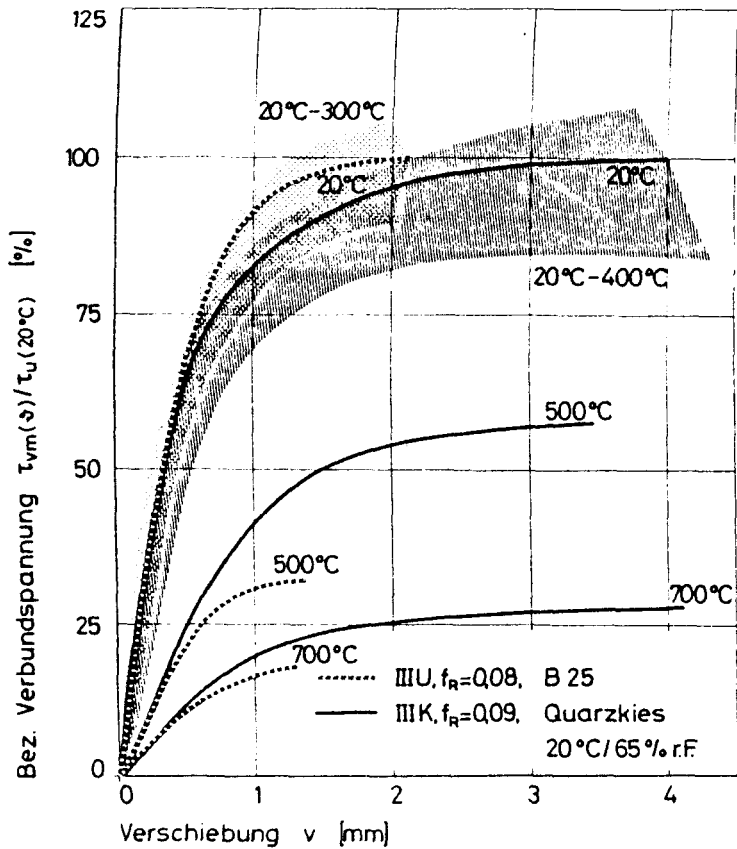


Bild 6.5: Vergleich der Verbundgesetze von Betonrippen- und Rippen-torstahl

Bild 6.6: Vergleich der Verbundgesetze von glattem und geripptem Betonstahl

len ist nahezu gleich groß. Mit dem gerippten Stahl werden selbst bei 700 °C noch größere Verbundbruchspannungen erreicht als mit glattem Stahl bei Raumtemperatur.

Die Bilder 6.7 und 6.8 zeigen in der Gegenüberstellung die Verbundgesetze von Spannstahl und Litze in Quarzkiesbeton hoher Festigkeit.

Die Verbundlänge des Spannstahls betrug $\ell_v = 10 d_s$, die der Litze $\ell_v = 5 d_s$.

Aus der Gegenüberstellung läßt sich das unterschiedliche Verbundverhalten deutlich ableiten.

Die Verbundgesetze von Spannstahl und Litze unterscheiden sich deutlich; die der Spannstähle zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die der Betonstähle, jedoch mit deutlich geringeren Verbundbruchspannungen. Eine Gegenüberstellung der Verbundbruchspannung τ_u und der zugehörigen Verschiebung v_{\max} zeigt Tab. 6.1.

	$\tau_u (20^\circ\text{C})$	$v_{\max} (20^\circ\text{C})$
	N/mm ²	mm
Q II*/III K	24,42	3,31
Q II/ III U	26,25	1,46
Q II/Sp St	16,24	4,10
Q II/Litze	9,10	8,26

* Q II: Quarzkiesbeton B 55, 20°C/65 % r.F.

Tab. 6.1: Verbundbruchwerte unterschiedlicher Stahllarten in Quarzkiesbeton B 55 bei RT

Nicht dargestellt ist bei diesen Mittelwertkurven die zum Teil recht sprunghaft auftretenden Verschiebungszunahmen und die damit auftretenden maschinenbedingten Lastabfälle beim Spannstahl. Hierüber wurde schon in [3.14] berichtet.

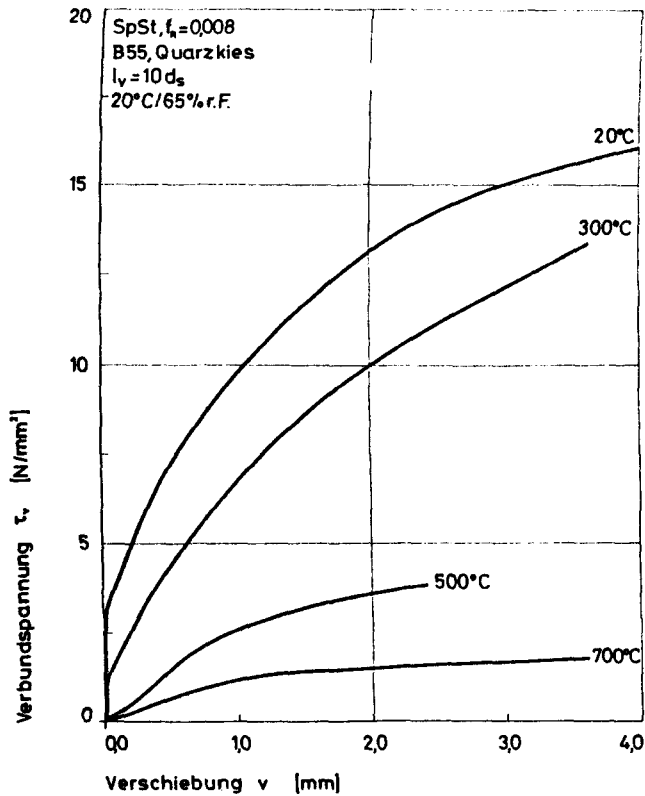


Bild 6.7: Verbundgesetze von Spannstahl
 $\varnothing 7,5$ mm profiliert mit einer
Verbundlänge von $l_v = 10 d_s$

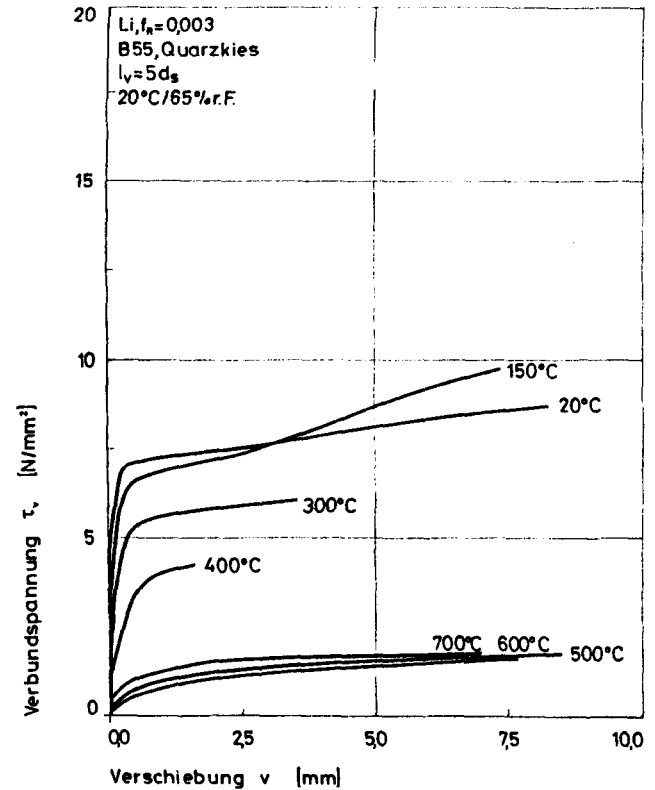


Bild 6.8: Verbundgesetze von Litzen $\varnothing 0,5''$
mit einer Verbundlänge von $l_v = 5 d_s$

Die Litzen zeigen ein grundsätzlich anderes Last-Verschiebungsverhalten. Nach dem Überwinden des Haftverbundes ist eine weitere Laststeigerung mit geringen Verschiebungszunahmen zu erkennen. Anschließend treten schlagartig sehr große Verschiebungen ohne nennenswerte Steigerung der Verbundspannung auf. Bei einem Teil der Versuche ist nach den hier dargestellten Verschiebungen nochmals eine 'Verfestigung' zu verzeichnen. Es treten dann zum Teil noch Verbundspannungssteigerungen auf das Doppelte der hier dargestellten Bruchwerte auf. Da jedoch der Meßbereich der Wegaufnehmer verlassen wurde, können hier nur qualitative Angaben gemacht werden. Außerdem handelte es sich nicht um eine systematische Erscheinung.

6.4.3 Einfluß der Zuschlagsart

Die unterschiedlichen thermischen Dehnungen der Betone beeinflussen die Verbundgesetze sehr deutlich. In Bild 6.9 wird der Einfluß von Kalkstein- und Quarzkiesbeton verglichen. Bis 300 °C sind die Verbundgesetze nahezu gleich. Ab 500 °C, mit größer werdender Dehnungsdifferenz zwischen Stahl und Beton, sinken die Verbundbruchspannungen des Quarzkiesbetons stark ab und erreichen bei 600 °C nurmehr 25 % des Vergleichswerts bei Raumtemperatur. Aufgrund der geringeren Dehnungsdifferenz zwischen Kalksteinbeton und Stahl ergibt sich hier eine geringere Beeinflussung des Last-Verschiebungs-Verhaltens durch hohe Temperaturen. Die Verbundgesetze der Kalksteinbetone sind steifer als die der Quarzkiesbetone. Außerdem werden mit Kalksteinbeton bei hohen Temperaturen deutlich höhere Verbundbruchspannungen erreicht: bei 600 °C noch 75 % der Verbundbruchspannung bei Raumtemperatur.

Das Verbundverhalten von Rippentorstahl in Leichtbeton ist in Bild 6.10 dargestellt. Es unterscheidet sich im wesentlichen durch die Versagensart. Die Versuche mit Blähton wurden bei allen Temperaturen in der Regel durch Sprengbruch beendet. Verknüpft mit dem Sprengbruchversagen waren große Streuungen der Bruchspannungen und Verschiebungen. Die vorherrschende Versagensart der Versuche mit Blähschieferbeton war der Gleitbruch. Daraus lassen sich auch die nahezu doppelt so großen

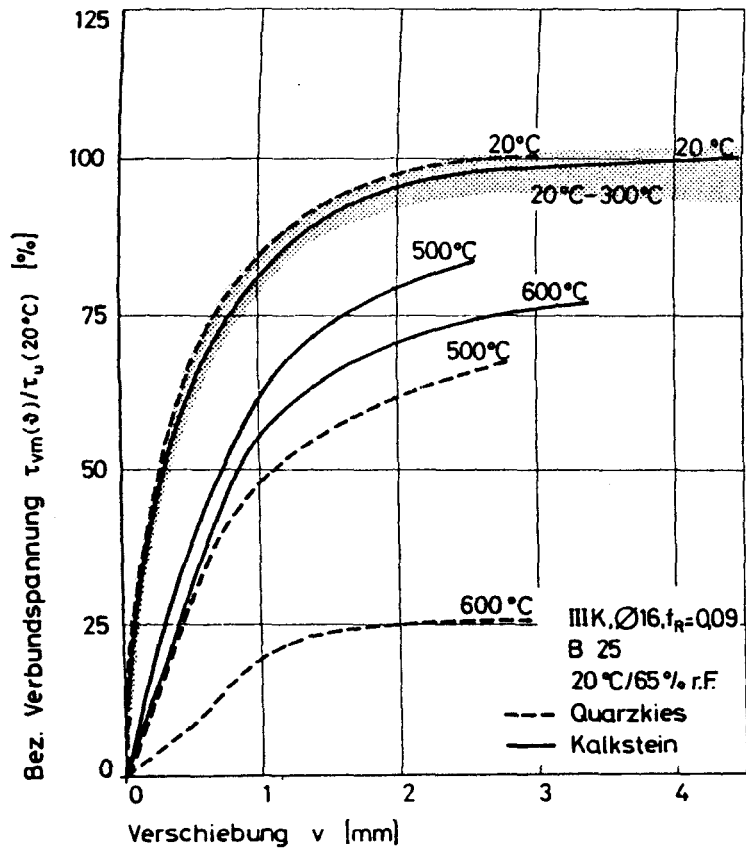


Bild 6.9: Einfluß der Zuschlagsart auf die Verbundgesetze von Rippentorstahl und Normalbeton

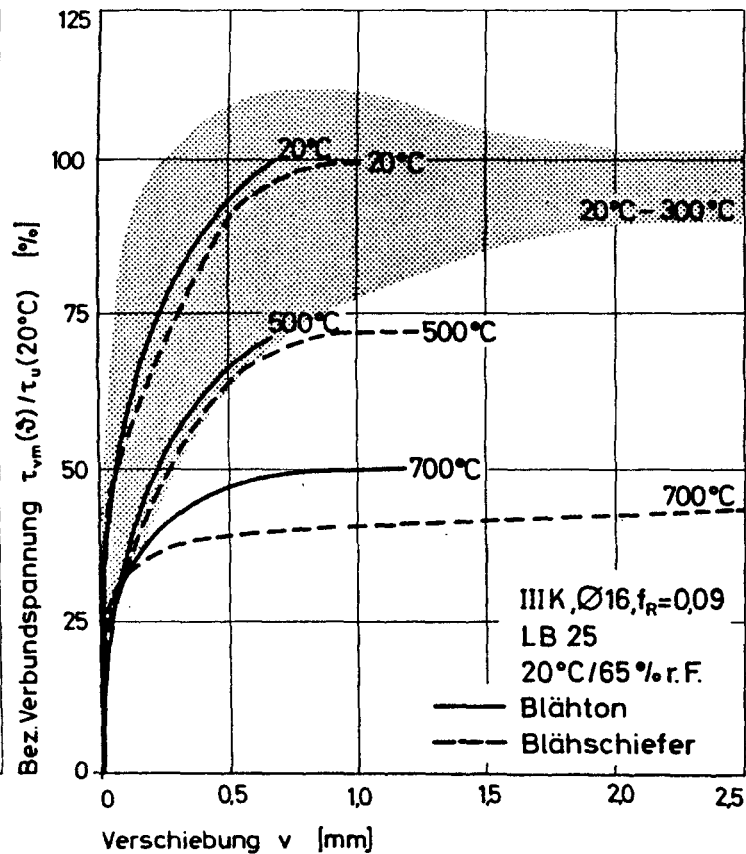


Bild 6.10: Einfluß der Zuschlagsart auf die Verbundgesetze von Rippentorstahl und Leichtbeton

Das Last-Verschiebungsverhalten der beiden Leichtbetonarten ist sonst sehr ähnlich. Beide haben einen hohen Haftspannungsanteil von rd. 20 % der Bruchlast und haben im Vergleich zum Normalbeton bei gleicher Lastausnutzung nur halb so große Stabendverschiebungen bei allen untersuchten Temperaturstufen.

Die temperaturabhängige Bruchspannungsentwicklung gleicht der des Kalksteinbetons. Bei 500 °C erreichen beide Leichtbetone noch 75 %, bei 700 °C noch rd. 50 % der Verbundbruchlast bei Raumtemperatur.

6.4.4 Einfluß der Lagerungsart

In Bild 6.11 werden Versuchsergebnisse von wassergelagerten und bei Normklima (20 °C/65 % r.F.) gelagerten Versuchskörpern verglichen. Dargestellt sind Verbundgesetze von Rippenstahl in Quarzkiesbeton B 25. Der Vergleich macht deutlich, daß wassergelagerte Versuchskörper bei gleicher Lastausnutzung größere Verschiebungen aufweisen. Erst über 500 °C ist im Last-Verschiebungsverhalten kein Einfluß aus der Lagerungsart mehr zu erkennen. Im Gegensatz zum Quarzkiesbeton ist beim Kalksteinbeton B 25 durch Wasserlagerung eine Versteifung der Verbundgesetze zu verzeichnen; außerdem bleiben die Verbundbruchspannungen bis 500 °C nahezu gleich. Doch auch bei den Kalksteinbetonen ist ab 600 °C kein Einfluß aus der Lagerungsart mehr vorhanden [3.12].

6.4.5 Einfluß der Betondruckfestigkeit

Bild 6.12 zeigt die Verbundgesetze von Quarzkiesbeton B 25 und B 55 mit einem Betonrippenstahl.

Die höhere Steifigkeit des B 55 führte erwartungsgemäß zu steiferen Verbundgesetzen. Damit verbunden sind auch geringere Stabendverschiebungen beim Bruch. Im Vergleich zum B 55 verweichen die Verbundgesetze beim B 25 mit zunehmender Temperatur deutlich stärker. Ab 600 °C ist jedoch kein Einfluß aus den unterschiedlichen Ausgangsfestigkeiten mehr vorhanden. Verbundbruchspannung und Verschiebung sind gleich. Dies gilt auch für Kalksteinbetone.

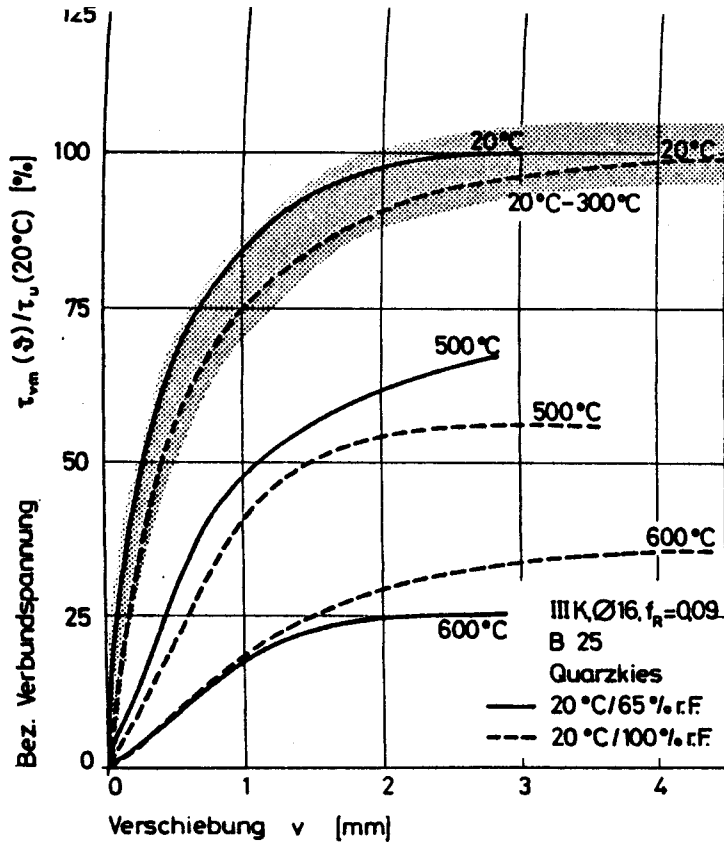


Bild 6.11: Einfluß der Lagerungsart auf die Verbundgesetze

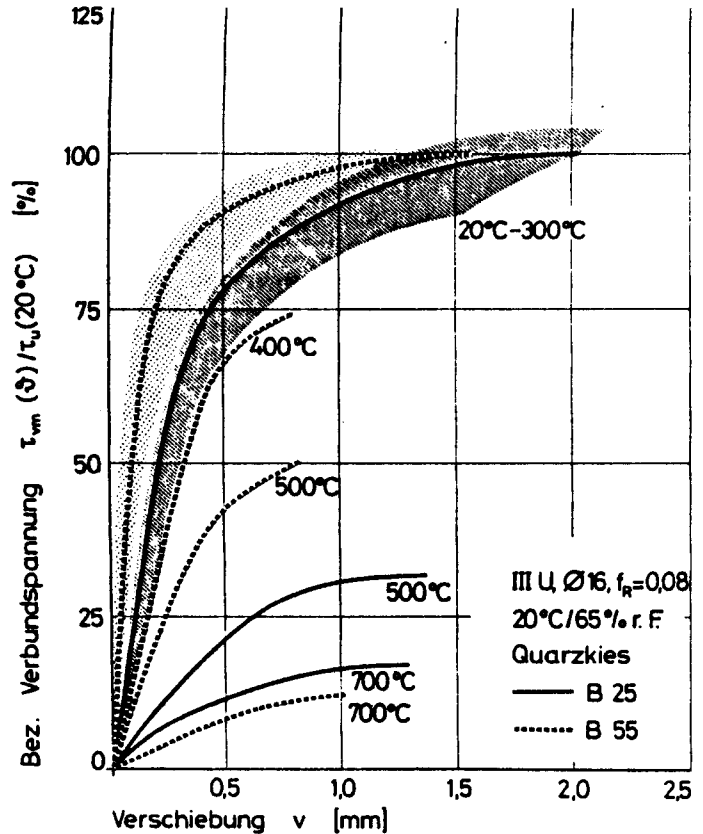


Bild 6.12: Einfluß der Betongüte auf die Verbundgesetze

6.4.6 Einfluß der Verbundlänge

In Bild 6.13 sind die Verbundgesetze von Stahl III U, $f_R = 0,07$, und Quarzkiesbeton B 25 für unterschiedliche Verbundlängen l_v dargestellt. Bis 300 °C ergeben sich im Verbundspannungs-Verschiebungsverhalten von $l_v = 5 d_s$ und $2 d_s$ nur geringe Unterschiede. Erst über 300 °C deuten sich bei der Verbundlänge $l_v = 2 d_s$ etwas höhere Verbundbruchspannungen an.

6.4.7 Verbundgesetze aus weggeregelten Versuchen

Bild 6.14 gibt Versuchsergebnisse wieder, bei denen die Last nach einer vorgegebenen Verschiebungsgeschwindigkeit des Stabendes von Hand gesteigert wurde. Da bei dieser Steuerungsart zum Teil vorzeitige Gleitbrüche auftraten, wurden einige Versuche kolbenweggesteuert gefahren. Die dargestellten Verbundgesetze sind Mittelwerte beider Steuerungsarten. (Es ergaben sich hier größere Maximalspannungen als in Bild 6.13 dargestellt. Dies ist zum Teil darin begründet, daß zur Mittelwertbildung nur zwei Versuche je Temperaturstufe zur Verfügung standen.)

Nach dem Erreichen der Maximalspannung ergaben sich bei gleichbleibender Last Verschiebungen in der gleichen Größenordnung der zur Maximalspannung gehörenden Verschiebung v_{max} .

Die Verschiebungen bei fallender Last waren beträchtlich. Größtenteils wurde der Meßbereich der zur Verfügung stehenden Wegaufnehmer von 10 mm überschritten. Im allgemeinen konnte bei den kolbenweggesteuerten Versuchen eine Restreibungsverbundspannung von $\tau_v \approx 0,1 \tau_{max}$ festgestellt werden, bei der die Verschiebungen kontinuierlich zunahmen.

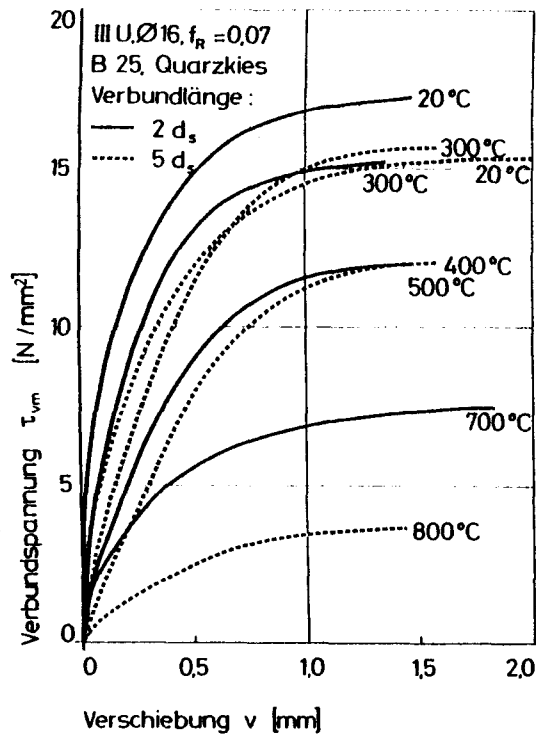


Bild 6.13:

Einfluß der Verbundlänge auf die temperaturabhängigen Verbundgesetze

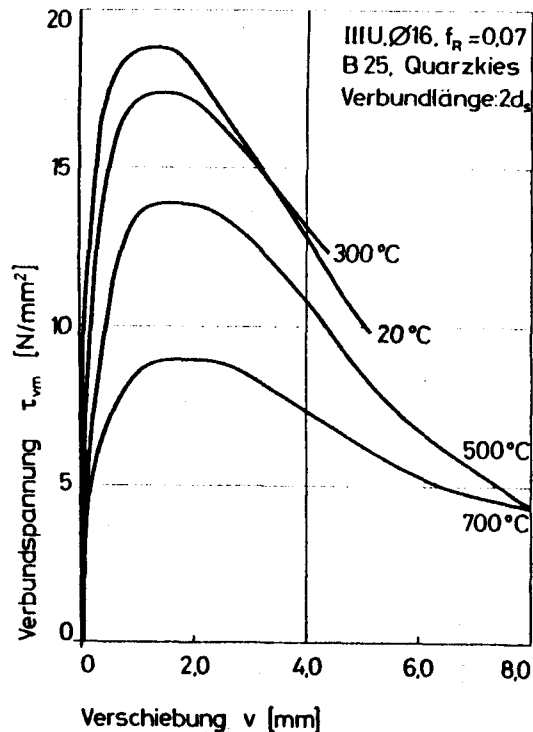


Bild 6.14:

Verbundgesetze aus weggeregelten Versuchen (Verbundlänge $2d_s$)

6.4.8 Verbundbruchspannungen

Einen zusammenfassenden Überblick der Abhängigkeit der Verbundbruchspannungen von der Temperatur geben die nachstehenden Bilder.

Bild 6.15 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen mit Stahl III K und Beton B 25 mit unterschiedlichen Zuschlägen. Die Verbundbruchspannungen bei 20 °C waren bei allen vier Betonen nahezu gleich ($\tau_{um}(20^{\circ}C) = 13,6 \pm 0,8 \text{ N/mm}^2$).

Die geringste Beeinflussung durch hohe Temperaturen ist beim Kalksteinbeton vorhanden. Bei den Leichtbetonen war bei rd. 150 °C ein deutliches Festigkeitsminimum festzustellen. Leichtzuschläge enthalten nach einer Lagerung von rd. 200 Tagen bei Normklima noch frei verdampfbares Wasser. Die verhältnismäßig dichte Oberfläche der Zuschläge verhindert ein schnelles Entweichen des beim Aufheizen entstehenden Dampfes. Die Überlagerung aus Dampfdruck und Zugspannungen führt zu einem vorzeitigen Versagen. Mit weiter steigender Temperatur wird das Wasser jedoch ausgetrieben. Ab 300 °C ist der Festigkeitsabfall der Leichtbetone mit denen der Kalksteinbetone vergleichbar.

Den größten Einfluß üben hohe Temperaturen auf den Quarzkiesbeton aus. Mit Auftreten großer Dehnungsdifferenzen zwischen Stahl und Beton ab 400 °C wird der Verbund zunehmend geschädigt. Dies führt zum starken Absinken der Verbundbruchspannungen.

Bild 6.16 gibt den Einfluß der bezogenen Rippenfläche bzw. der Stahlart auf die Verbundbruchspannungen wieder. Die Versuche wurden mit einem Quarzkiesbeton B 25 durchgeführt. Es wurden die Verbundgesetze der drei handelsüblichen Betonstahlarten I G, III K und III U ermittelt. Außerdem wurde beim Stahl III U die bezogene Rippenfläche mit $f_R = 0,08$ und $f_R = 0,07$ variiert. Durch Abschleifen jeder zweiten Rippe wurde zusätzlich ein Rippenstahl mit einer bezogenen Rippenfläche $f_R = 0,035$ hergestellt, um den Einfluß des Rippenabstandes auf das Verbundverhalten zu studieren.

Generell wurden die temperaturabhängigen Verbundbruchspannungen durch die Versagensart beeinflusst. Sprengbruchversagen führt zu geringeren Festigkeiten. Sprengbrüche traten bei den III U-Stählen mit $f_R = 0,035$ über den gesamten Temperaturbereich und zum Teil mit $f_R = 0,080$ bei Temperaturen über $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf. Die Rippenreduzierung führt zu hohen Druckspannungen in den Betonkonsolen. Damit verbunden sind große Ringzugspannungen. Aufgrund des schnelleren Absinkens der Zugfestigkeit mit steigender Temperatur ist hier der Sprengbruch vorherrschend.

Auf die Verbundbruchspannungen wirkt es sich in Hochtemperaturbereichen günstig aus, die einzuleitende Last auf mehrere kleinere Rippen oder kontinuierlich umlaufende Rippen zu verteilen. Die damit erzielte Versagensart ist der Gleitbruch mit höheren Bruchspannungen, jedoch verbunden mit weicheeren Verbundgesetzen; d.h., daß bei gleicher Lastausnutzung größere Stabendverschiebungen auftreten.

Aus der Darstellung der Verbundbruchspannung der glatten Betonstähle läßt sich ableiten, daß die Haft- und Reibungswirkung des glatten Stabanteils eines Rippenstahls bis $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ rd. 10 % beträgt. Über $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ sinken die Bruchspannungen der glatten Stäbe sehr stark ab und sind bei $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ kaum noch erfaßbar.

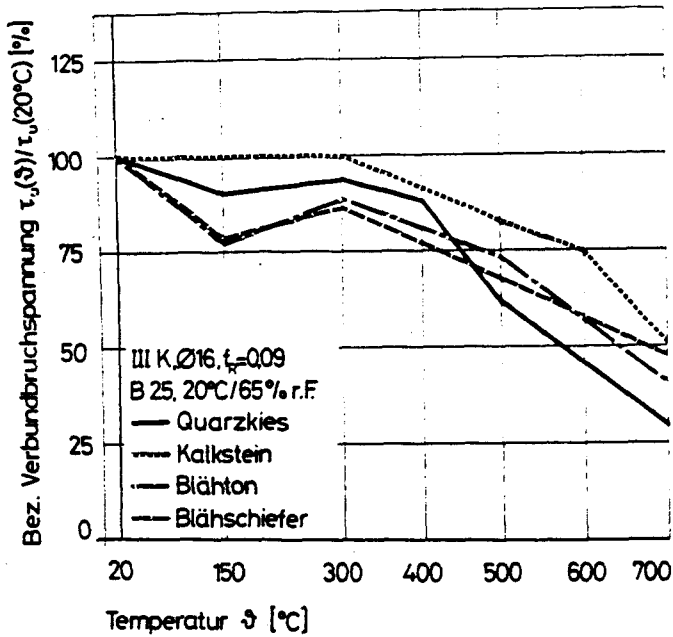


Bild 6.15: Der Einfluß der Zuschlagsart auf die temperaturabhängigen Verbundbruchspannungen

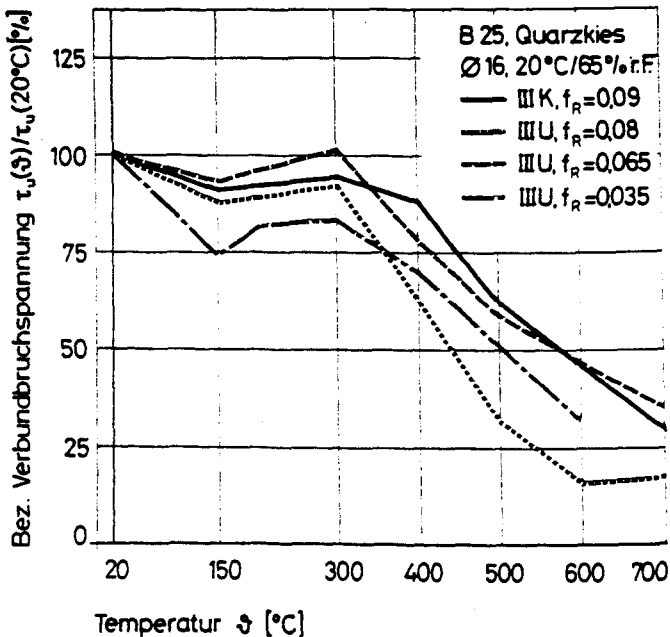


Bild 6.16: Der Einfluß der bezogenen Rippenfläche und der Rauigkeit auf die temperaturabhängigen Verbundbruchspannungen

6.5 Der Einfluß der Betondeckung auf das Verbundverhalten

6.5.1 Allgemeines

Die Verbundgesetze exzentrisch betonierter Betonstähle wurden mit einem Stahl III U mit $f_R = 0,08$ ermittelt. Hier werden die Ergebnisse der Untersuchungen mit Quarzkiesbeton B 25 dargestellt. Die weiteren Ergebnisse der in Tabelle 4.4 aufgeführten Parameter sind im Anhang dargestellt.

6.5.2 Ecklage des Bewehrungsstabes

Bild 6.17 zeigt in der Gegenüberstellung die Verbundgesetze der zentrischen Ausziehversuche mit denen der exzentrischen. Es ist deutlich zu erkennen, daß mit steigender Temperatur und abnehmender Betondeckung sowohl die Verbundbruchspannungen als auch die Versagensverschiebungen abnehmen. Zum anderen bewirkt die Ecklage eine Erhöhung des Haftspannungsanteils und eine Versteifung der Verbundgesetze.

Diese Beobachtung kann auf die sich steiler einstellenden Druckstreben und die höheren Druckspannungen unter den Rippen, verursacht durch die geringeren Lastabtragsflächen mit kleiner werdenden Betondeckungen zurückgeführt werden.

Die versteifende Wirkung bleibt bis 700 °C erhalten, wie aus Bild 6.18 zu ersehen ist. Hier sind die Verbundgesetze der unterschiedlichen Betondeckungen bei einer Temperaturstufe gegenübergestellt. Zusätzlich eingetragen ist der Verlauf der Sprengbruchverschiebungen der exzentrischen Versuche.

Alle exzentrischen Versuche wurden durch Sprengbruchversagen beendet. Dennoch war das Rißverhalten unterschiedlich. Bei den Versuchskörpern mit $1 d_s$ Betondeckung wurde bei allen Temperaturstufen die gesamte Betondeckung abgesprengt. Im oberen Drittel der Verbundzone trat in den meisten Fällen zusätzlich ein horizontaler Querriß auf.

Bei den Versuchskörpern mit $2 d_s$ Betondeckung trat ein Absprengen der Ecke nur zum Teil bis rd. 200 °C auf. Meist ver-

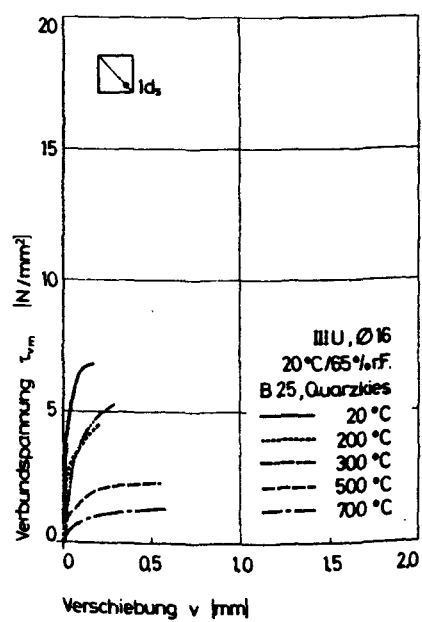
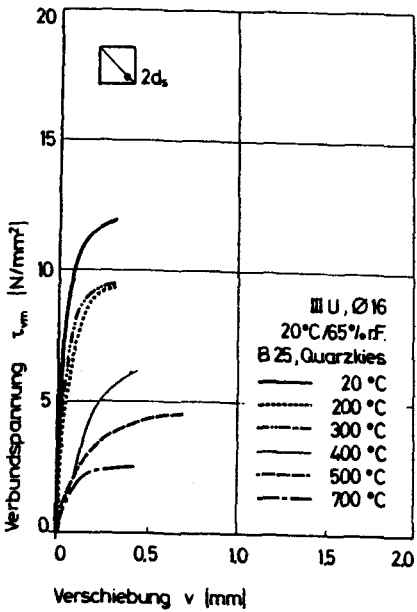
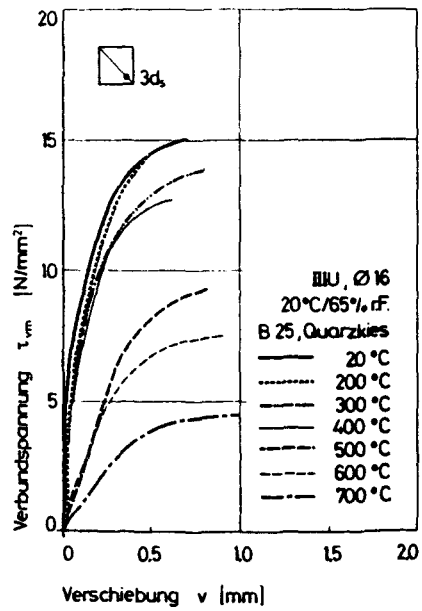
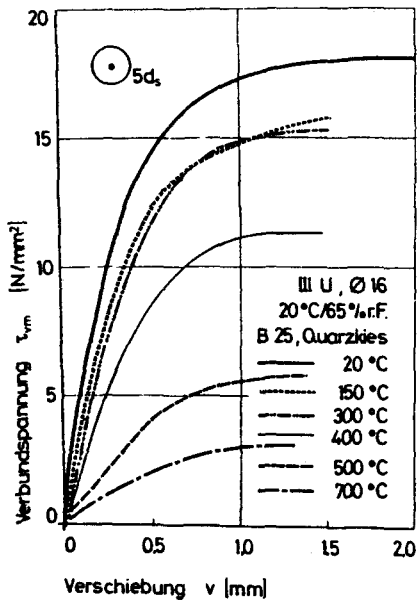


Bild 6.17: Verbundgesetze von Stahl III U und B 25 mit unterschiedlichen Betondeckungen

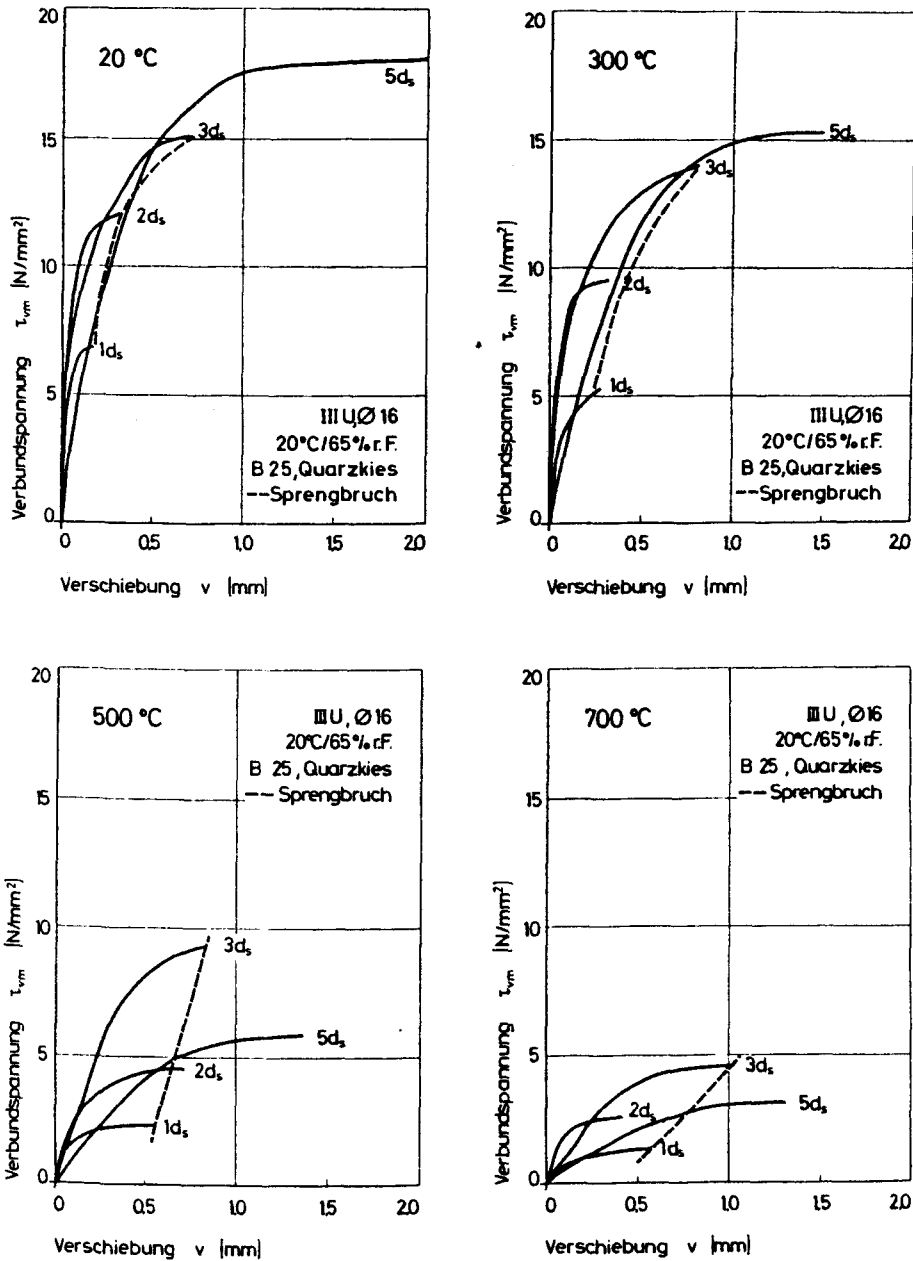


Bild 6.18: Verbundgesetze unterschiedlicher Betondeckung bei gleichen Temperaturen

lief nur einer der beiden Sprengrisse über die ganze Höhe. Zusätzlich bildeten sich jedoch in Stabrichtung verlaufende Risse senkrecht zur Diagonalen aus. Auch hier ergab sich zum Teil noch ein horizontaler Riß, der jedoch eher in Versuchs-
körpermitte auftrat.

Bei 3 d_s Betondeckung ergab sich meist nur ein einziger Sprengriß. Erst ab rd. 400 °C entwickelte sich ein Rißbild, bei dem, von der Ecke in Höhe des unteren Drittels der Verbundzone ausgehend, auf jeder Seite ein schräger Riß bis zur Höhe des geringsten Stababstandes verlief.

Die Längsrisse sind eindeutig auf die Ringzugspannung aus Lasteinleitung zurückzuführen. Die Ursache der Querrisse wird in dem Auftreten von Schubbeanspruchung aus der exzentrischen Lasteinleitung gesehen.

In den Bildern 6.19 und 6.20 sind die Verbundbruchspannungen τ_u sowie die zugehörigen Versagensverschiebungen v_u in Abhängigkeit von der Betondeckung dargestellt.

Der Vergleich macht deutlich, daß mit steigender Temperatur die Verbundbruchspannungen zwar abnehmen, die Versagensverschiebungen jedoch im allgemeinen zunehmen. Bei den exzentrischen Versuchen ergibt sich ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen der Abminderung der Verbundbruchspannung und der Betondeckung.

Bild 6.21 zeigt den Einfluß der Betongüte auf das Verbundbruchverhalten. Dargestellt sind die auf die Hochtemperaturdruckfestigkeit bezogenen Verbundbruchspannungen in Abhängigkeit von der Temperatur.

Aus der Darstellung wird deutlich, daß die Proportionalität zwischen Verbundfestigkeit und Druckfestigkeit auch bei hohen Temperaturen gegeben ist.

Es zeigen sich, auf die Betondruckfestigkeit bezogen, für beide Betongüten nahezu die gleichen bezogenen Verbundbruchspannungen. Insgesamt kann aus der Neigung der schraffierten Bereiche abgelesen werden, daß die Verbundfestigkeiten bei hohen

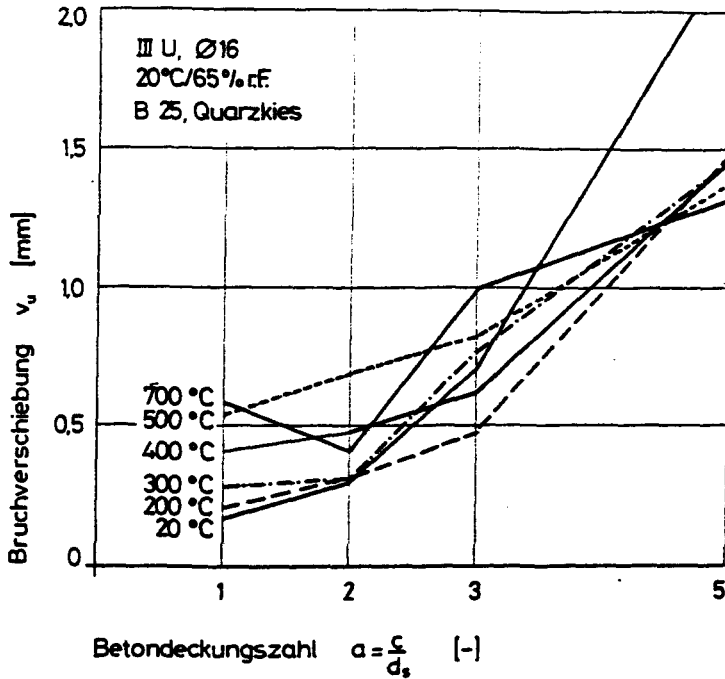


Bild 6.19: Bruchverschiebungen bei unterschiedlichen Temperaturen in Abhängigkeit von der Betondeckung

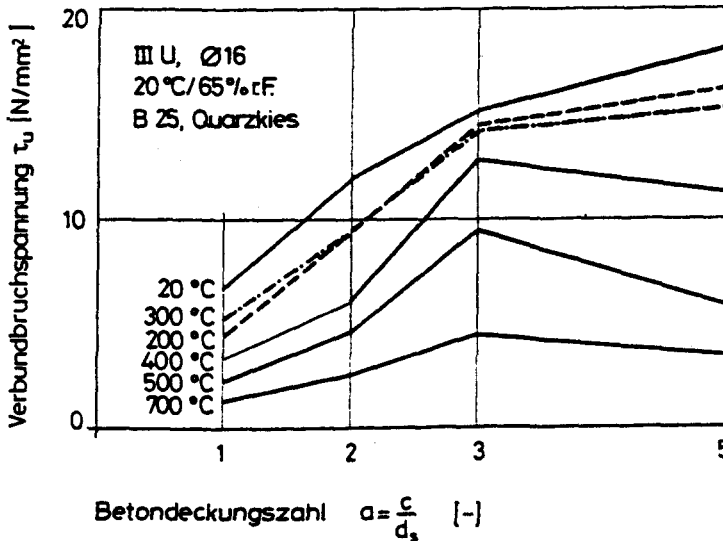


Bild 6.20: Verbundbruchspannungen bei unterschiedlichen Temperaturen in Abhängigkeit von der Betondeckung

Temperaturen etwas mehr absinken als die Druckfestigkeiten. Diese Feststellungen gelten gleichermaßen für alle drei Betondeckungen.

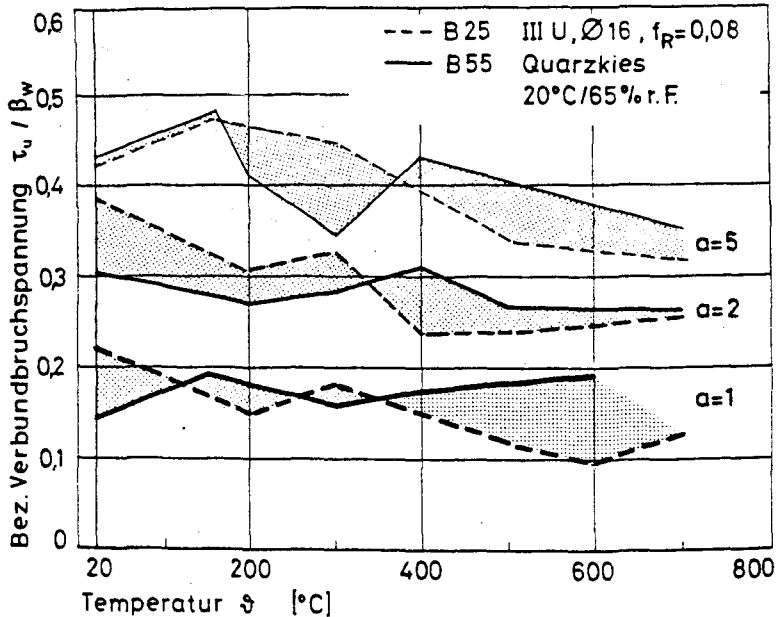


Bild 6.21: Einfluß der Betongüte auf das Verbundbruchverhalten bei unterschiedlichem Betondeckungsgrad a

6.5.3 Vergleich zwischen Rand- und Ecklage

In den Bildern 6.22 und 6.23 sind die Verbundgesetze unterschiedlicher exzentrischer Anordnung in halblogarithmischer und doppeltlogarithmischer Art dargestellt. In der doppeltlogarithmischen Darstellung wurden die Verbundspannungen auf die temperaturabhängige Druckfestigkeit β_w bezogen. Die Betondeckung c beider Serien war gleich: $c = 2 d_s$.

Mit beiden Stabanordnungen wurden annähernd die gleichen Verbundbruchspannungen erzielt. Jedoch wurden bei der Stabanordnung auf der Seitenmittellinie bis 400 °C geringere Haftspannungen erreicht. Hier traten bei geringen Lasten größere Stabendverschiebungen auf als bei der Eckanordnung. Das Last-Ver-

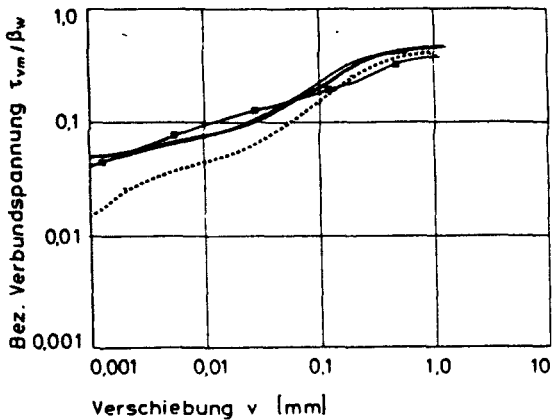
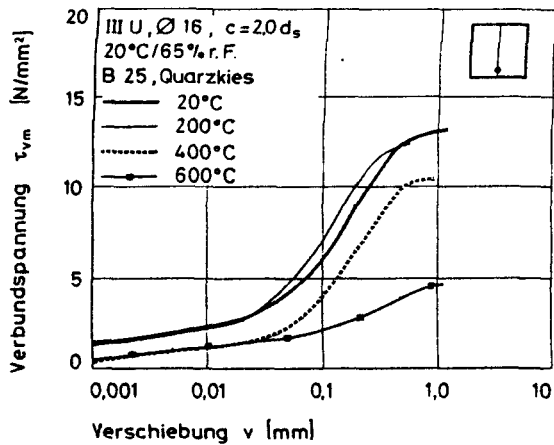


Bild 6.22: Verbundgesetze bei Eckanordnung des Bewehrungsstabes

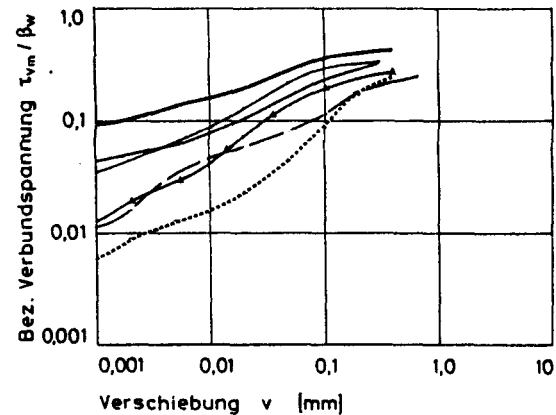
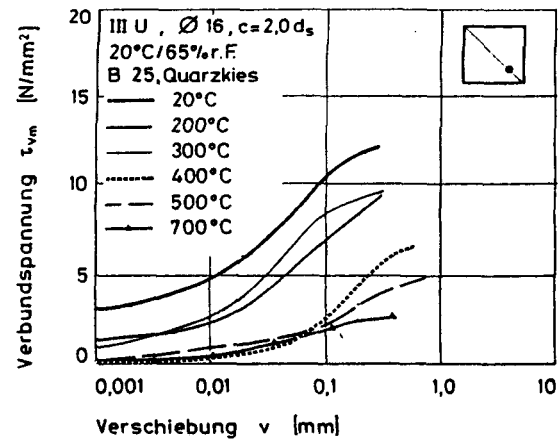


Bild 6.23: Verbundgesetze bei Anordnung des Bewehrungsstabes auf der Seitenmittellin

schiebungsverhalten gleicht eher dem zentrischer Ausziehversuche.

Ab 500 °C ist kein bedeutender Unterschied aus der Stabanordnung mehr zu erkennen. Für beide Arten ergeben sich nahezu die gleichen Verbundgesetze.

Das Versagen trat bei der Randlage durch Aufreißen der Betondeckung über die gesamte Höhe ein. Zusätzlich traten sternförmig um den Stab herum meist zwei weitere kurze Risse auf. Bei höheren Temperaturen waren auch horizontale Risse im Bereich der Verbundzone vorhanden.

Mit der auf die Druckfestigkeit bezogenen Darstellung wird deutlich, daß die Proportionalität zwischen Druckfestigkeit und Verbundbruchspannung bei Anordnung auf der Seitenmittellinie auch im Hochtemperaturbereich erhalten bleibt. Bei der Eckanordnung sinkt die bezogene Verbundbruchspannung mit zunehmender Temperatur leicht ab.

Ein Vergleich der Verbundbruchspannungen von Rand- und Ecklage der Bewehrungsstäbe mit unterschiedlichen Betondeckungen läßt erkennen, daß bei der Ecklage die geringsten Bruchspannungen vorhanden sind (s. Bild 6.24).

Bei 600 °C werden jedoch von allen Stabanordnungen (bis auf die $1 d_s$ -Ecklage) noch Bruchspannungen erreicht, die deutlich über den von DIN 1045 zugelassenen Verbundspannungen $\tau_1 = 1,8 \text{ N/mm}^2$ liegen.

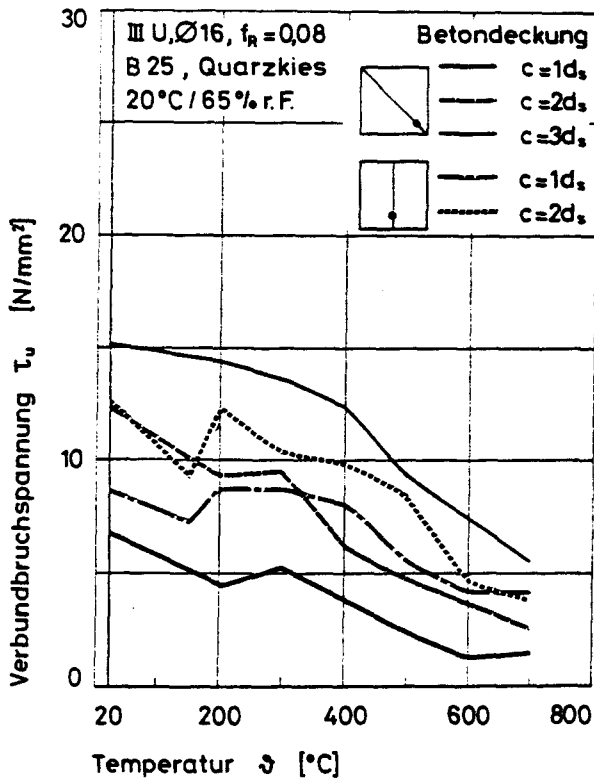


Bild 6.24: Temperaturabhängige Verbundbruchspannung von Rand- und Ecklage mit unterschiedlichen Betondeckungen

6.6 Zum Einfluß des Stababstandes auf die Sprengrißbildung bei Verwendung von Doppelstäben

6.6.1 Allgemeines

Die Untersuchungen an Doppelstäben sollte Aufschluß darüber erbringen, wie das Verbundversagen durch den Stababstand beeinflusst wird. Von besonderem Interesse war hier die Beobachtung des Rißverhaltens beim Sprengbruch. Es sollte u.a. geklärt werden, welcher minimale Stababstand zum Absprengen der gesamten Betondeckung führt. Die Untersuchungen wurden mit Quarzkiesbeton B 25 und Betonrippenstahl III U, $\varnothing 16$,

$f_R = 0,08$ durchgeführt. Die Variation der Stababstände ist in Tabelle 4.5 dargestellt.

6.6.2 Verbundgesetze von Doppelstäben

Am Beispiel von zwei Varianten des Stababstandes, jedoch mit gleicher Betondeckung von $c = 2 d_s$, soll der Einfluß auf die Verbundgesetze bei hohen Temperaturen dargestellt werden. Weitere Darstellungen sind im Anhang enthalten.

Bild 6.25 zeigt die Verbundgesetze für den Stababstand von $6 d_s$. Der obere Teil des Bildes gibt die Verbundspannungs-Verschiebungs-Beziehung in halblogarithmischer Darstellung, der untere in doppellogarithmischem Maßstab wieder. Bei der doppellogarithmischen Darstellung sind die Verbundspannungen auf die temperaturabhängigen Betondruckfestigkeiten bezogen.

Auffällig ist hier, daß zwar die Haftspannungen leicht absinken, bis 500 °C ergeben sich jedoch nahezu temperaturunabhängige Verbundgesetze. Erst bei 700 °C tritt eine Verweichung ein. In der doppellogarithmischen Darstellung zeigt sich der gleiche Verlauf der bezogenen Verbundgesetze wie bei Anordnung des Einzelstabes auf der Seitenmittellinie, jedoch mit geringeren Stabendverschiebungen beim Bruch.

Bild 6.26 zeigt die Verbundgesetze für einen Stababstand von $4 d_s$. Diese Verbundgesetze gleichen denen der Einzelstäbe mit Eckenordnung: Absinken des Haftspannungsanteils ab 300 °C, Verweichung der Verbundgesetze ab rd. 500 °C. Die bezogenen Bruchspannungen sind jedoch wieder nahezu gleich.

In Bild 6.27 sind die Verbundbruchspannungen der Versuche mit Betondeckung von $2 d_s$ dargestellt. Bei Raumtemperatur werden mit allen Stabanordnungen nahezu die gleichen Bruchspannungen erreicht. Die temperaturabhängigen Versagensfestigkeiten unterscheiden sich jedoch deutlich.

Mit einem Stababstand von $2 d_s$ und großer seitlicher Betondeckung ergeben sich bis 400 °C die größten Bruchspannungen.

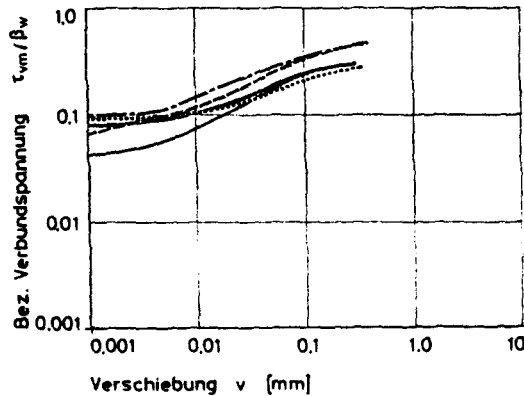
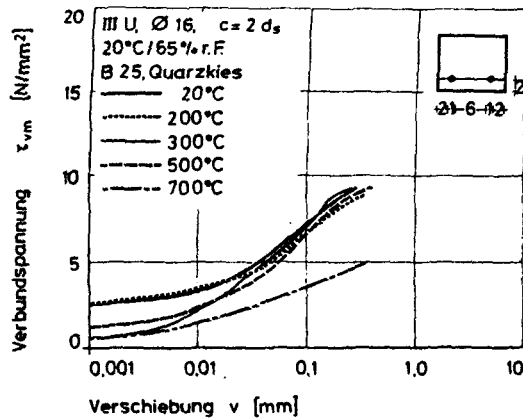


Bild 6.25: Verbundgesetze von Doppelstäben mit $6 d_s$ lichem Stababstand und $2 d_s$ Betondeckung

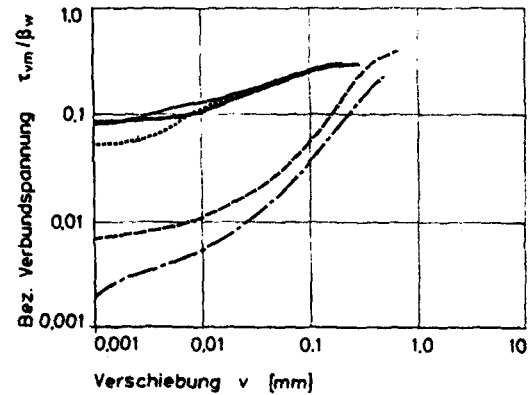
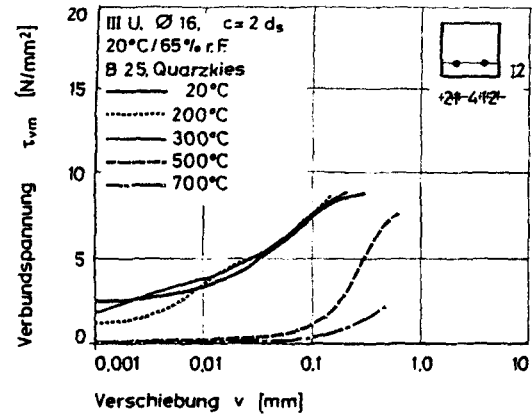


Bild 6.26: Verbundgesetze von Doppelstäben mit $4 d_s$ lichem Stababstand und $2 d_s$ Betondeckung

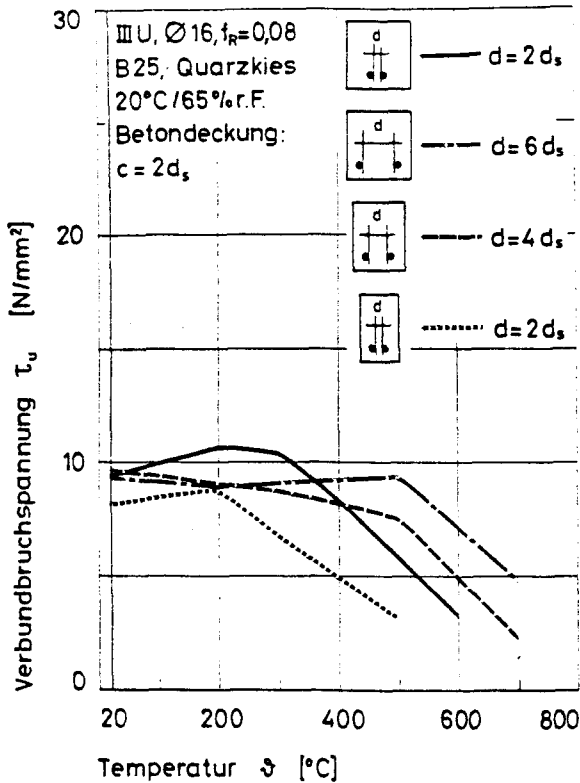


Bild 6.27: Temperaturabhängige Verbundbruchspannungen von Doppelstäben mit unterschiedlichen lichten Stababständen aber gleicher Betondeckung

Wird jedoch die Betondeckung zu den Seiten hin auf $2 d_s$ reduziert, dann sinken die Verbundbruchspannungen ab 200 °C sehr schnell ab. Bei einem Stababstand von $6 d_s$ bleiben die Verbundbruchspannungen bis 500 °C nahezu konstant, erst bei höheren Temperaturen tritt eine deutliche Abnahme ein.

6.6.3 Sprengrißverhalten

Bild 6.28 zeigt schematisch das nach dem Wiedererkalten der Versuchskörper beobachtete Rißbild, wobei nur die wesentlichen Sprengrisse dargestellt sind. Bei 20 °C ergaben sich bei allen Varianten der Stabanordnung Rißverläufe, die zum

		Temperatur			
		20 °C	300 °C	500 °C	700 °C
lichter Stababstand	$2d_s$				
	$3d_s$				
	$2d_s; 6d_s; 2d_s$				
	$2d_s; 4d_s; 2d_s$				
	$2d_s; 2d_s; 2d_s$				
	$1d_s; 2d_s; 1d_s$				

Bild 6.28: Rißbilder bei Doppelstabordnung und unterschiedlichen Betondeckungen und Stababständen

Absprengen der gesamten Betondeckung parallel zu den Stäben führte. Die Anordnung 2 : 6 : 2 stellte eine Ausnahme dar: hier wurden die Ecken abgesprengt. Auffallend ist, daß nur bei den Stabanordnungen 2 : 4 : 2 und 1 : 2 : 1 bei allen Temperaturen die gesamte Betondeckung abgesprengt wird. Bei den anderen Anordnungen ergaben sich bei höheren Temperaturen keine durchgehenden Sprengrisse mehr: Zusätzlich zu den hier auftretenden Sprengrissen ergaben sich jedoch weitere Risse, die sternförmig um den Stab verliefen.

6.7 Zum Einfluß hoher Temperaturen auf das Last-Verschiebungsverhalten von Haken

6.7.1 Allgemeines

Das Last-Verschiebungsverhalten von Verankerungen wurde an Quarzkiesbeton B 25 untersucht. Im folgenden werden die Ergebnisse von Untersuchungen mit Betonrippenstahl III U, $\emptyset 16$, $f_R = 0,065$ und Betonstahl I G, $\emptyset 16$, mit einer Rauigkeit gemäß DIN ISO 1302 von $R_a = 8.6$ dargestellt. Die Betondeckung betrug $c = 2 d_s$. Es wurden Winkelhaken, Haken und Schlaufenhaken, wie in Tabelle 4.6 dargestellt, untersucht.

Die Relativverschiebung zwischen Stahl und Beton wurde bei allen Versuchen am Krümmungsbeginn gemessen. Die zusätzlichen Meßpunkte sind in Bild 6.29 dargestellt.

Bei den Ausziehversuchen mit Betonrippenstahl konnte auch die relative Verschiebung am Anfang der Verbundzone bestimmt werden. Dies war beim glatten Stahl aufgrund der großen Dehnungen und Stabverschiebungen versuchstechnisch nicht möglich.

Da sowohl die Verbundspannungen als auch die Stahlspannungen entlang der gekrümmten Stabachse sich erheblich ändern, können bei der Darstellung der Versuchsergebnisse die gemessenen Verschiebungen nur in Abhängigkeit von der aufgetragenen Last P aufgetragen werden. Die Stahlspannung ist nur am Lasteinleitungspunkt bekannt: $\sigma_e = P/F_e$.

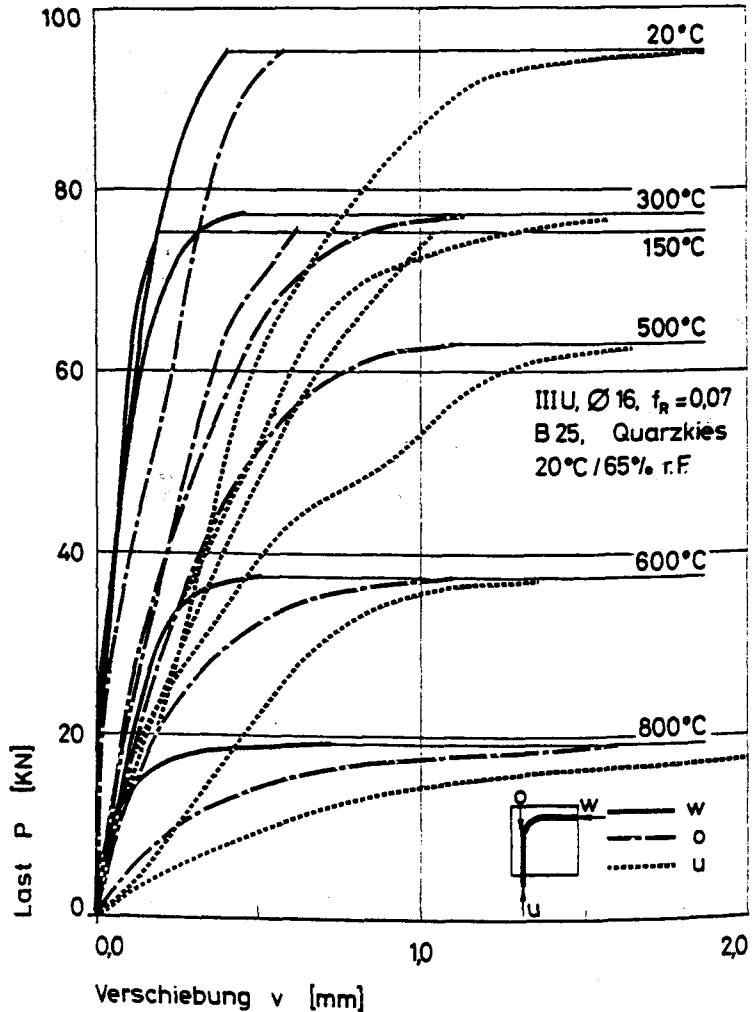


Bild 6.30: Verbundgesetze von Winkelhaken aus Stahl III U, ermittelt an drei Meßpunkten entlang der Stabachse

Hakens eintritt. Bei 800 °C ist der Stahl so weich, daß ein Durchziehen von Belastungsbeginn an zu beobachten ist. Alle Versuche wurden durch Sprengbruch beendet. Die Bruchformen unterschieden sich jedoch deutlich in Abhängigkeit von der Temperatur. Bis 300 °C traten überwiegend glatte Trennbrüche in Achsrichtung des Stabes auf. Ab 300 °C traten dreiteilige Bruchformen auf; unterhalb des Hakens blieb ein Druckkegel be-

stehen. Die Betondeckung oberhalb des Druckkegels wurde in zwei Schalenteilen abgesprengt. Dies ist auf den beiden folgenden Bildern 6.31 und 6.32 zu erkennen. Bei Versuchsbeobachtungen während des Belastungsvorgangs konnte festgestellt werden, daß bei den zweiteiligen Sprengbrüchen der Trennriß von unten begann. Bei den hohen Temperaturen $T > 300\text{ °C}$ öffnete sich der Sprengriß vom lastfreien Ende her. Dies deutet darauf hin, daß durch das Aufziehen des Hakens vom Hakenende her nach außen gerichtete Kräfte auftraten, die zu Zugspannungen in der Hakenebene führten.

6.7.3 Zum Einfluß der Hakenform

Zum Vergleich des Einflusses der Hakenform auf das Last-Verschiebungsverhalten sind im Bild 6.33 die Verschiebungen am Krümmungsanfang und in Bild 6.34 die des Hakenendes aufgetragen.

Der Vergleich der Hakenendverschiebungen zeigt, daß beim Schlaufenhaken hier die geringsten Verschiebungen auftreten. Erst ab 500 °C zeichnet sich das Aufziehen des Hakens durch größere Verschiebungszunahmen bei geringeren Lasten ab.

Die Stabverschiebungen von Haken und Winkelhaken sind bei allen Temperaturen nahezu gleich. Für den Haken sind hier jedoch nicht die Stabendverschiebungen aufgetragen; die Verschiebungen wurden am gleichen Ort gemessen wie beim Winkelhaken (s. auch Bild 6.29).

Die Verschiebungen am Krümmungsanfang sind bei allen Hakenformen und Temperaturen nahezu gleich. Die Winkelhaken erreichen jedoch die höheren Bruchlasten. Beim Schlaufenhaken tritt ab 500 °C ein deutliches Fließen ein; das heißt: Stahlversagen und Betonversagen weisen die gleiche Größenordnung auf, das Versagen tritt jedoch durch Aufspalten ein. Das bei den Winkelhaken beobachtete Aufspalten der Betondeckung über einem Druckkegel war sonst nur bei den Schlaufenhaken aufgetreten, und zwar nur bei 700 °C (s. Bild 6.35).

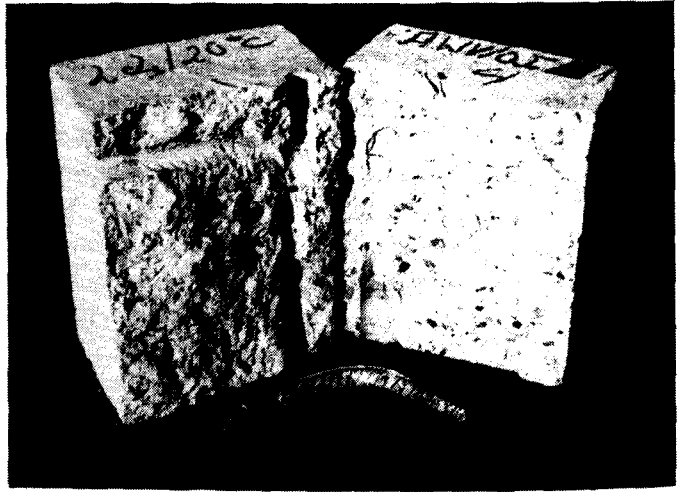


Bild 6.31: Versuchskörper und Winkelhaken
(Sprengbruch bei 20 °C)



Bild 6.32: Versuchskörper und Winkelhaken
(Sprengbruch bei 600 °C)

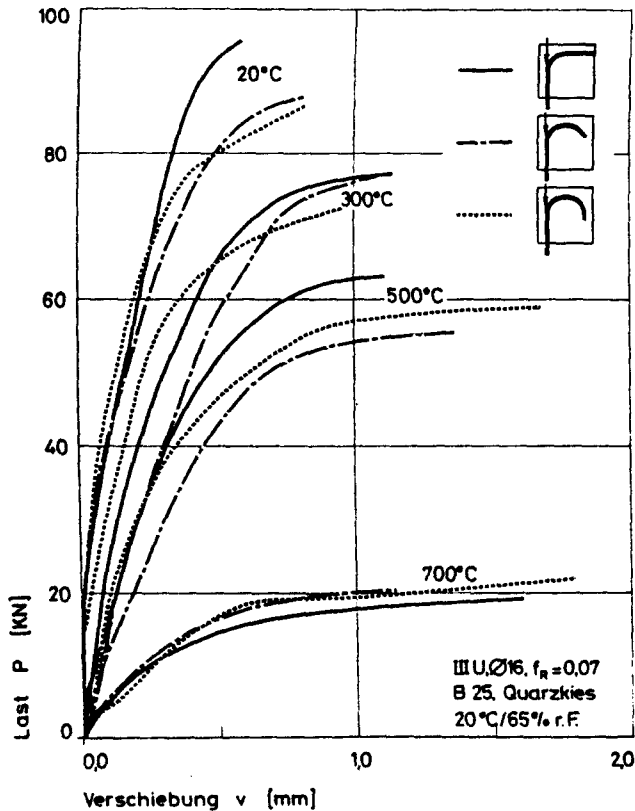


Bild 6.33: Vergleich der Verbundgesetze von Haken, Winkel- und Schlaufenhaken aus Stahl III U (Meßpunkt: Krümmungsanfang)

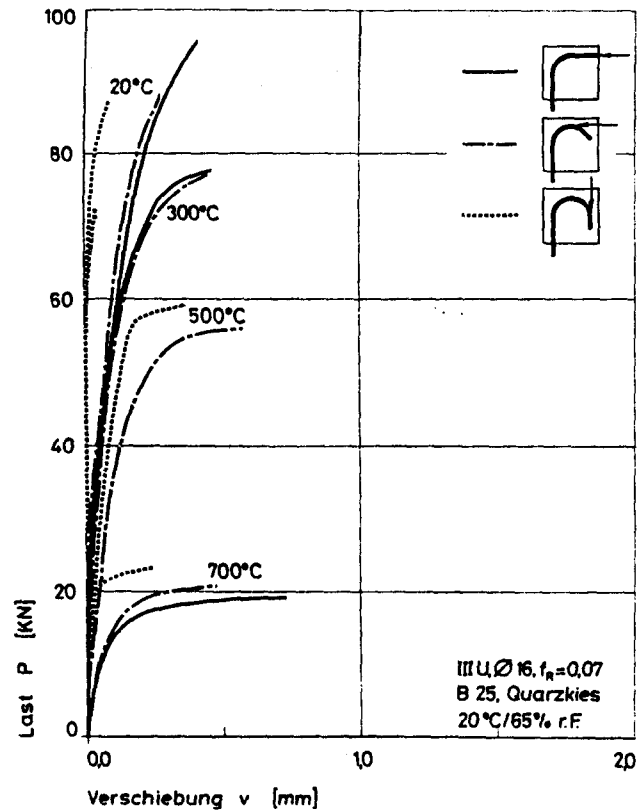


Bild 6.34: Vergleich der Verbundgesetze von Haken, Winkel- und Schlaufenhaken aus Stahl III U (Meßpunkt: Stab- oder Krümmungsende)



Bild 6.35: Versuchskörper und Schlaufenhaken
(Sprengbruch bei 700 °C)

6.7.4 Einfluß der Stahlart

Bild 6.36 zeigt das Last-Verschiebungsverhalten der drei Hakenformen für glatten Betonstahl. Aufgetragen sind die Verschiebungen vom Krümmungsanfang und in Bild 6.37 vom Stabende. Bei den Winkelhaken war das Versagen bei allen Temperaturen mit den geringsten Bruchlasten verbunden. Sie versagten zwar immer durch Sprengbruch, es wurde aber auch stets der Haken aufgezogen. Haken und Schlaufenhaken führten zu wesentlich höheren Bruchlasten. Bei 500°C wurden mit diesen Verankerungsarten noch Versagenslasten erreicht, die in der Größenordnung der des Winkelhakens bei 20 °C lagen. Bei 700 °C wurden alle Hakenformen "glattgezogen", es bestand kein Unterschied mehr in der Bruchlast.

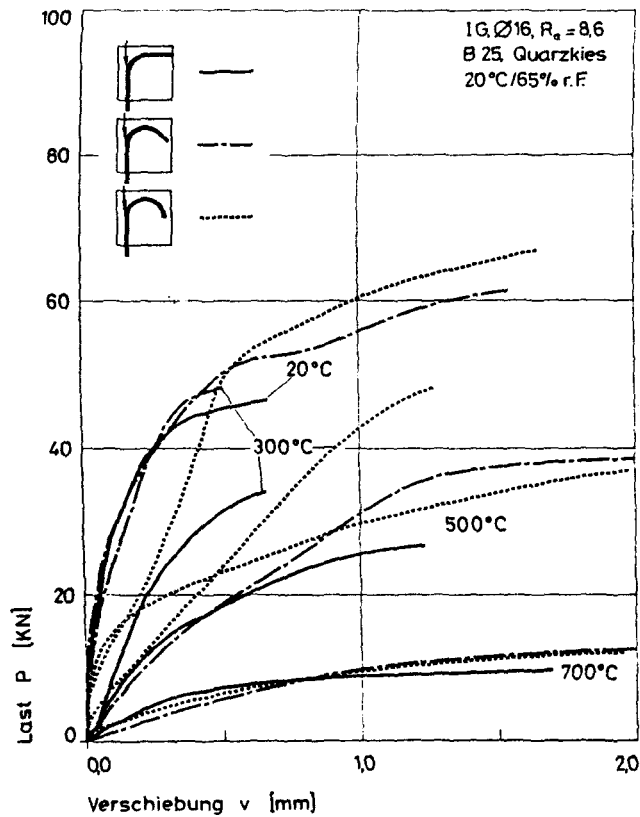


Bild 6.36: Vergleich der Verbundgesetze von Haken, Winkelhaken und Schlaufenhaken aus Stahl I G (Meßpunkt: Krümmungsanfang)

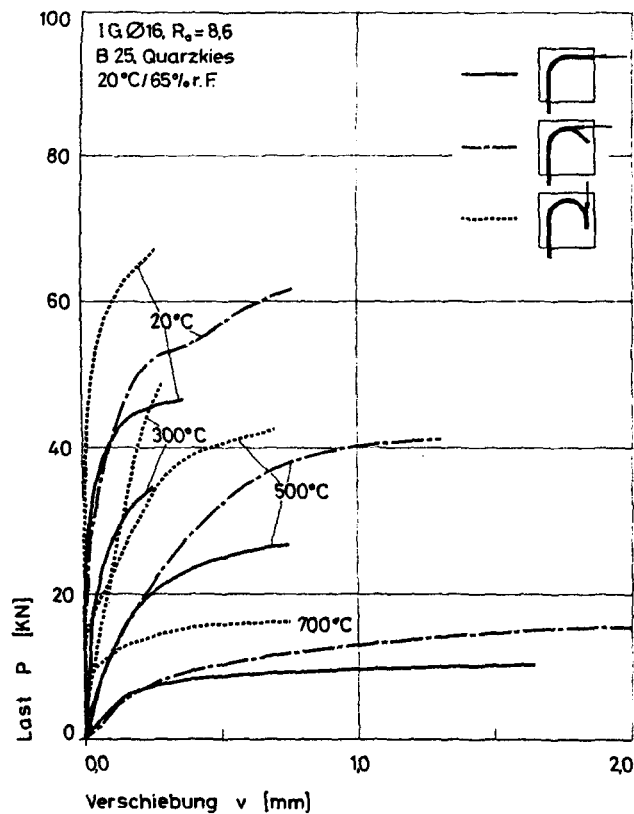


Bild 6.37: Vergleich der Verbundgesetze von Haken, Winkel- und Schlaufenhaken aus Stahl I G (Meßpunkt: Stab- oder Krümmungsende)

6.7.5 Vergleich der temperaturabhängigen Bruchlasten

Aus der Gegenüberstellung der Bruchlasten, die mit den einzelnen Hakenformen erzielt wurden (siehe Bild 6.38) ist zu erkennen, daß Haken und Schlaufenhaken mit steigender Temperatur im gleichen Maße abfallen. Dies gilt für beide Stahlarten. Die gerippten Winkelhaken zeigen jedoch insgesamt die höchsten Bruchlasten und die glatten Winkelhaken die geringsten. Bei Raumtemperatur werden mit allen Hakenformen, mit Ausnahme des glatten Winkelhakens, Bruchlasten erreicht, die nahe an der Zugfestigkeit des Stahles liegen. Bei 150 °C ist bei fast allen Versuchen ein Festigkeitsminimum vorhanden.

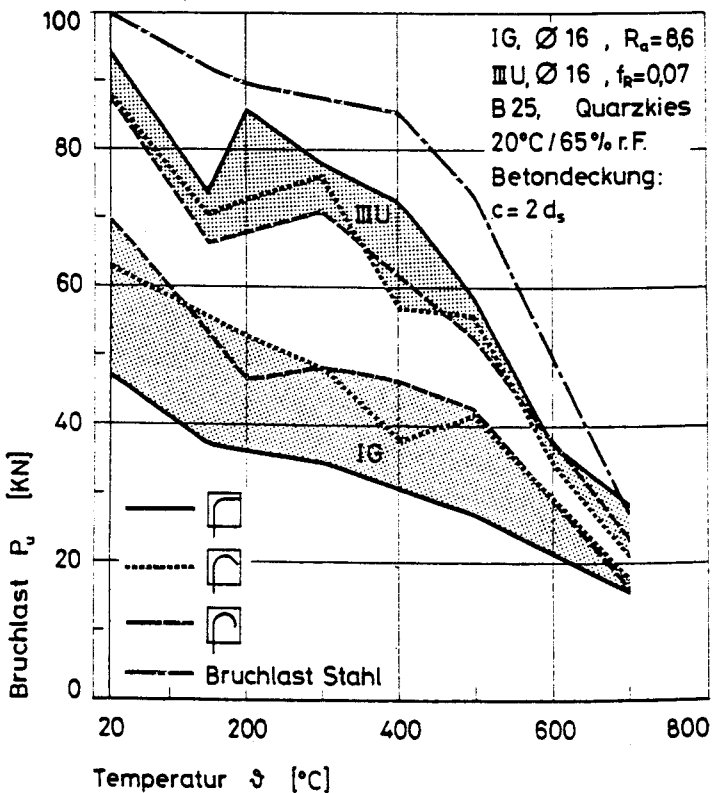


Bild 6.38: Temperaturabhängige Bruchlasten von Haken, Winkel- und Schlaufenhaken mit unterschiedlichen Betonstählen

Ab 300 °C nehmen die Bruchlasten nahezu linear ab. Bei 700 °C erreichen alle Hakenformen - gleich welcher Stahlart - nahezu die gleiche Bruchlast; auch hier liegen die Stahlspannungen wieder in der Nähe der Zugfestigkeit.

Bezieht man die jeweils erreichten Bruchlasten auf die Hochtemperaturspaltzugfestigkeit des Quarzkiesbetons B 25, so ergeben sich für alle Hakenformen und beide Stahlarten über den gesamten Hochtemperaturbereich nahezu die gleichen Werte (siehe Bild 6.39). Aus der Darstellung wird deutlich, daß bei den Haken Proportionalität zwischen Versagenslasten und Zugfestigkeit des Betons vorhanden ist. Dies führt zu der Annahme, daß bei Verwendung eines hochfesten Quarzkiesbetons B 55 und von Stahl III U im gesamten Temperaturbereich das Versagen durch Stahlfließen zu erwarten ist.

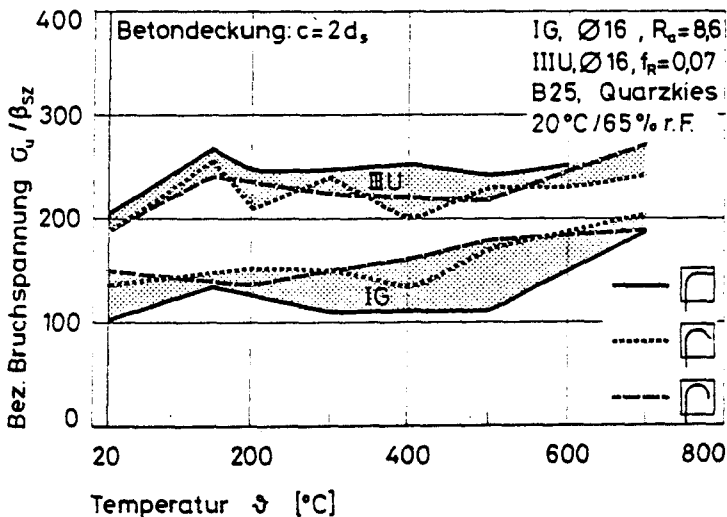


Bild 6.39: Temperaturabhängige, auf die Spaltzugfestigkeit bezogene Bruchspannungen von Haken, Winkel- und Schlaufenhaken für Stahl III U und I G

6.8 Instationäres Verbundkriechen

6.8.1 Allgemeines

Das Versuchsprogramm, s. Tabelle 4.4, hatte auch das instationäre Verbundkriechen zum Gegenstand. Bild 4.2 zeigte die prinzipielle Abfolge von Belastung und Aufheizung. Die Aufheizung bis zum Versagen erfolgte linear mit $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Als Versagensart trat sowohl Sprengbruch als auch Gleitbruch auf. Der Gleitbruch ist hier gekennzeichnet durch das Herausziehen des Stabes bei fallender Last. Die Geschwindigkeit der Verschiebungszunahme ist dann so groß, daß die Stabendverschiebungen nicht mehr erfaßt werden können.

Der Sprengbruch ist in den folgenden Darstellungen durch ein nicht ausgefülltes Symbol, der Gleitbruch durch ein ausgefülltes Symbol gekennzeichnet.

Werden Versuchskörper belastet, so tritt eine spontane Stabendverschiebung v_0 ein, sofern die mittlere Verbundspannung den Haftwiderstand τ_{vo} übertraf. Der in Bild 6.40 angegebene Lastausnutzungsgrad bezieht sich auf die mittlere Verbundbruchspannung bei Raumtemperatur. Mit ansteigender Temperatur nehmen dann die Stabendverschiebungen zu. Da zur Ermittlung von Verbundkriechgesetzen nur die lastbedingten Stabendverschiebungen von Interesse sind, müssen von den so bestimmten Stabendverschiebungen noch die temperaturbedingten Stabendverschiebungen subtrahiert werden.

Die beim Aufheizen unbelasteter Proben sich ergebenden mittleren Stabendverschiebungen sind in Bild 6.41 dargestellt.

Bild 6.40a gibt nun die reinen lastbedingten Stabendverschiebungen in Abhängigkeit von der Temperatur einschließlich der spontanen Anfangsverschiebung bei Raumtemperatur wieder. Sie wurden an einem zylindrischen Ausziehkörper aus Quarzkiesbeton B 25, der bei $20\text{ }^{\circ}\text{C}/65\text{ \% r.F.}$ gelagert war, ermittelt.

Subtrahiert man von diesen gesamten, last- und temperaturabhängigen Stabendverschiebungen v die spontanen Stabendverschiebungen v_0 bei Belastung, so erhält man die temperaturabhängigen Kriechverschiebungen v_{ki} (siehe Bild 6.40b).

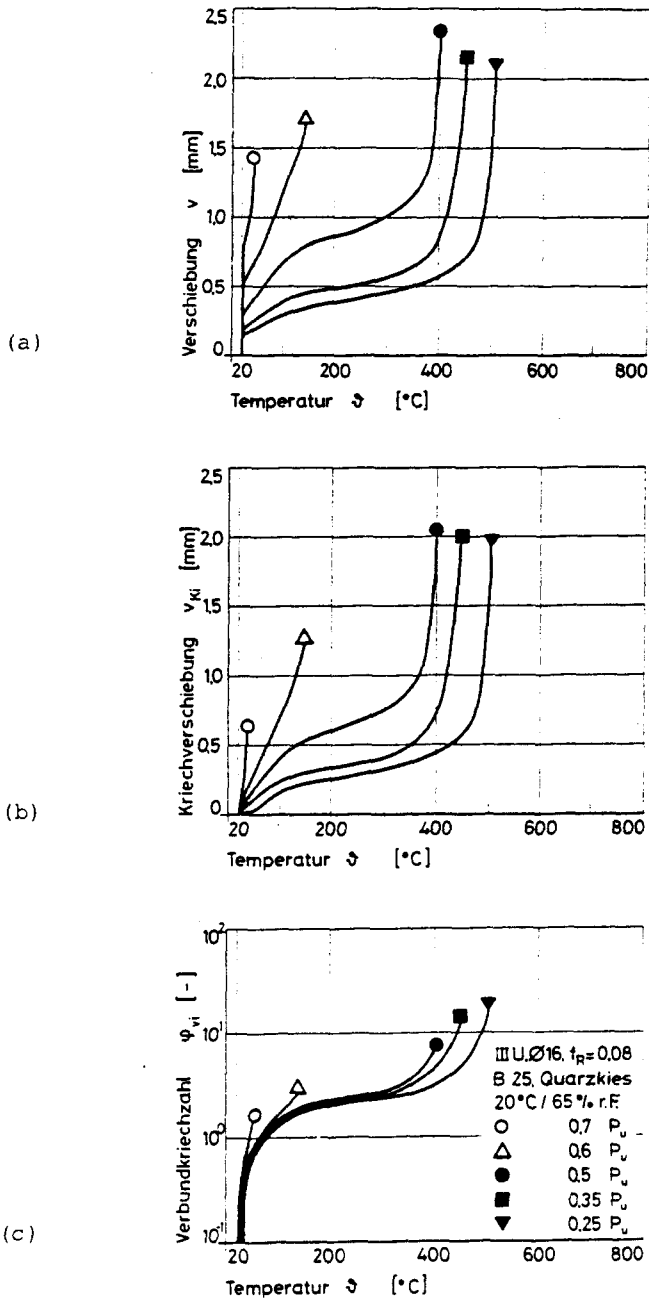


Bild 6.40: Temperaturabhängige Stabendverschiebungen (a), Kriechverschiebungen (b) und Kriechzahlen (c) von Stahl III U und Quarzkiesbeton B 25 bei unterschiedlichen Belastungen.

Die instationären Verbundkriechzahlen φ_{vi} von Bild 6.40c sind wie folgt definiert:

$$\varphi_{vi} = \frac{v - v_o}{v_o} = \frac{v_{ki}}{v_o} \quad (6.1)$$

Sie sind in Bild 6.40c in halblogarithmischem Maßstab dargestellt. Es wird deutlich, daß sich für alle Lastausnutzungen, in einem von der Last abhängigen Temperaturbereich, nahezu die gleiche temperaturabhängige Kriechzahl ergibt; d. h. daß die Kriechzahl φ_{vi} im betrachteten Temperaturbereich unabhängig von der angelegten Verbundspannung ist.

Im Anhang sind die Versuchsergebnisse der in Tab. 4.4 angegebenen Parameter einzeln dargestellt. Es werden dort jeweils die Verschiebungen, die Kriechverschiebungen und die Verbundkriechzahlen in Abhängigkeit von der Temperatur angegeben.

Im folgenden wird gezeigt, daß sich für nahezu alle untersuchten Parameter beanspruchungsunabhängige instationäre Verbund-

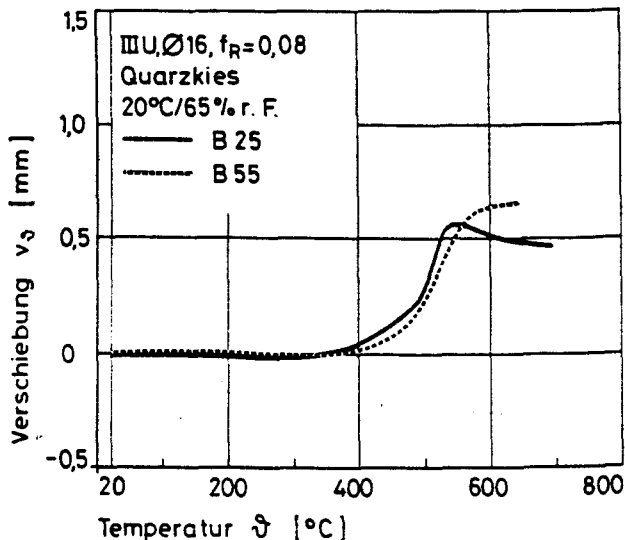


Bild 6.41: Temperaturabhängige Stabendverschiebungen bei Aufheizung ohne Last

kriechzahlen φ_{vi} ergeben, deren temperaturabhängiger Verlauf sich im wesentlichen gleicht.

Ähnlich dem Kriechverhalten des Betons bei Raumtemperatur läßt sich auch der Verlauf des instationären Verbundkriechens in drei Bereiche einteilen. Der primäre Bereich, bis rd. 150 °C, ist gekennzeichnet durch eine anfänglich schnelle Zunahme des Verbundkriechens. Ab rd. 150 °C schließt sich ein Bereich mit einem stetigen, aber geringen Anstieg der Verbundkriechzahl an. Im tertiären Bereich, dessen Beginn von der Höhe des Belastungsgrades abhängt, nimmt das Verbundkriechen ständig zu, bis entweder die Betonschale abgesprengt wird (Sprengbruch) oder der Stab bei fallender Last herausgezogen wird (Gleitbruch). Das Lastsymbol am Ende einer Kurve kennzeichnet diesen Versagenspunkt. Hohe Belastungsgrade ($P \geq 0,6 P_u$) führen gleich zum Kriechbruch, d.h. es tritt im wesentlichen nur tertiäres Verbundkriechen auf.

6.8.2 Einfluß der Betondruckfestigkeit

In den Bildern 6.42a,b,c sind die temperaturabhängigen Verschiebungen v , Kriechverschiebungen v_{ki} und die Kriechzahl φ_{vi} für Quarzkiesbeton B 55 dargestellt. Die Verschiebungen v_o sind bei gleicher Lastausnutzung beim B 55 kleiner als beim B 25. Bild 6.42b macht außerdem deutlich, daß auch die Kriechverschiebungen bei B 55 kleiner ausfallen als bei B 25. In einem lastabhängigen Temperaturbereich ergeben sich auch beim B 55 lastunabhängige Kriechzahlen. Der Vergleich der Kriechzahlen für B 25 und B 55 (s. Bild 6.40c und 6.42c) macht deutlich, daß die Kriechzahl für B 55 ab 100 °C geringfügig größer als für B 25 ausfällt. Die Versagenstemperaturen sind jedoch beim B 55 mit hoher Lastausnutzung deutlich höher.

Bild 6.43 zeigt den Vergleich der Kriechzahlen für Quarzkiesbeton B 25 und B 55, hier aber mit dem III K-Stahl, $f_R = 0,09$. Auch hier liegen die Kriechzahlen des B 55 deutlich über denen des B 25. Jedoch wurden hier vom B 25 höhere Versagenstemperaturen erreicht. Das Abzweigen aus der einheitlichen Kriechfunktion in den zum Kriechbruch führenden Bereich erfolgt beim B 25 bei höheren Temperaturen.

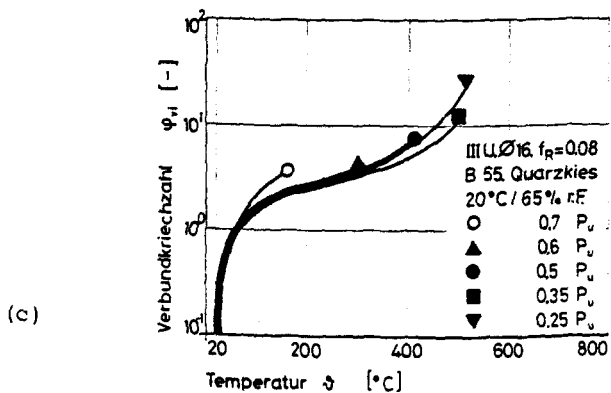
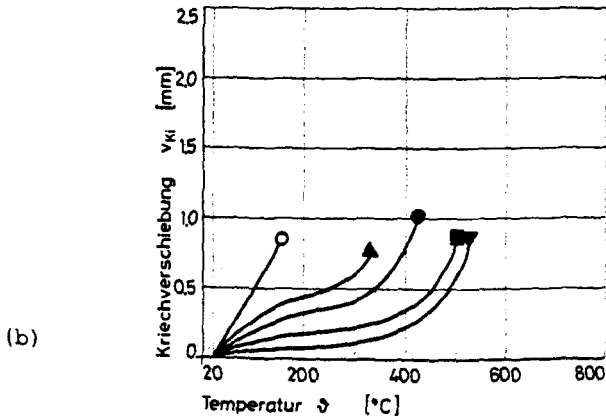
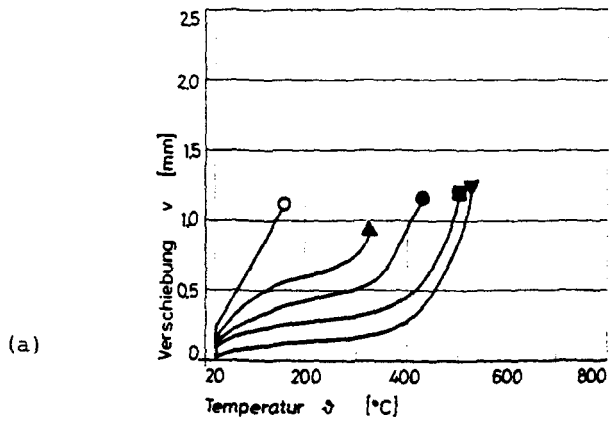


Bild 6.42: Temperaturabhängige instationäre Stabendverschiebung (a), Kriechverschiebungen (b) und Kriechzahlen (c) von Stahl III U und Beton B 55 bei unterschiedlichen Belastungsgraden

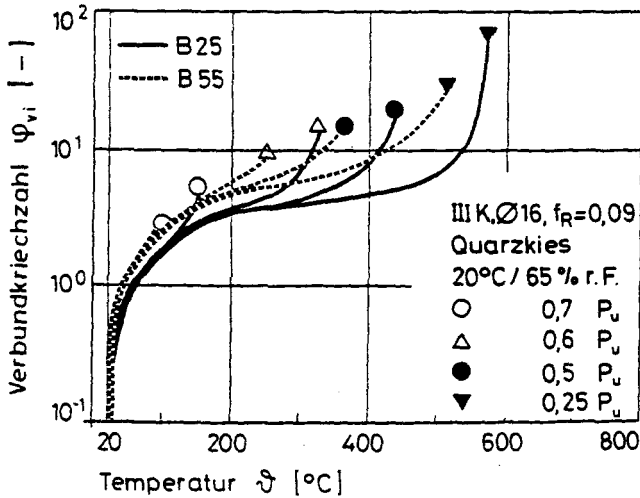


Bild 6.43: Temperaturabhängiger instationärer Kriechverlauf von III K und Quarkiesbeton B 25 und B 55

6.8.3 Einfluß der Stahlart

In Bild 6.44 sind die Kriechzahlen für den Betonstahl III U, $f_R = 0,08$ und III K, $f_R = 0,09$ gegenübergestellt. Sie gelten für Quarkiesbeton B 25.

Mit dem Rippentorstahl werden größere Kriechzahlen und im allgemeinen bei gleicher Lastausnutzung höhere Versagenstemperaturen erreicht. Hier treten bei hoher Lastausnutzung noch bei rd. 300 °C Sprengbrüche auf. Das Abzweigen in dem zum Kriechbruch führenden Bereich liegt bei Lastausnutzungen von $P/P_u < 0,50$ für beide Stahlarten in etwa bei gleichen Temperaturen.

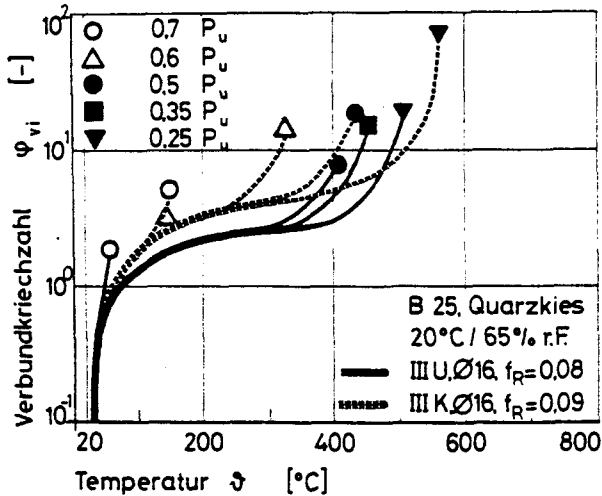


Bild 6.44: Temperaturabhängiger instationärer Kriechverlauf von Stahl III U und III K in Quarzkiesbeton B 25

6.8.4 Einfluß der Zuschlagart

In Bild 6.45 sind die Kriechzahlen für Quarzkiesbeton und Kalksteinbeton B 25 einander gegenübergestellt. Sie unterscheiden sich nur unwesentlich und nur im Temperaturbereich bis 150 °C. Jedoch treten beim Kalkstein auch bei hoher Lastausnutzung keine Sprengbrüche auf. Die Versuche wurden bei einer Lastausnutzung von $P/P_u = 0,25$ durch Stahlversagen beendet.

Bild 6.46 gibt die Kriechzahlen der Leichtbetone wieder. Sie liegen deutlich über denen der Normalbetone. Weiterhin fällt auf, daß sich für den Blähschiefer lastabhängige Kriechzahlen ergeben, die nur in grober Näherung zusammengefaßt werden könnten.

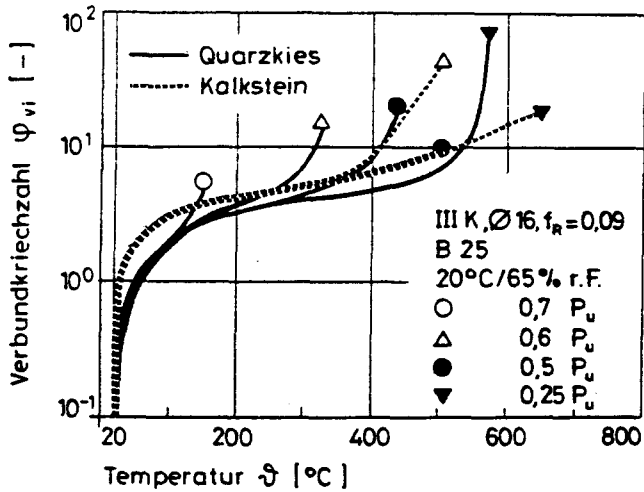


Bild 6.45: Temperaturabhängiger instationärer Kriechverlauf von Stahl III K und unterschiedlichen Zuschlagsarten in Normalbeton

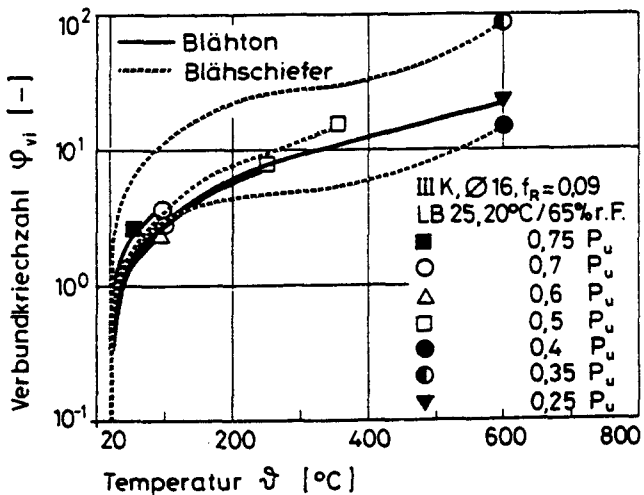


Bild 6.46: Temperaturabhängiger instationärer Kriechverlauf von Stahl III K und Leichtbeton mit unterschiedlichen Zuschlägen

Im Unterschied zu den Normalbetonen ergeben sich bei den Leichtbetonen mit Lastausnutzungen von $P/P_u = 0,50$ noch Sprengbrüche. Sie treten ohne Vorankündigung durch Abzweigen aus der Kriechfunktion ein.

6.8.5 Einfluß der Lagerungsart

Die Lagerungsart übt nahezu keinen Einfluß auf die Verbundkriechzahl aus. Sowohl beim Quarzkiesbeton B 25 und B 55 als auch bei den Kalksteinbetonen ergeben sich die gleichen Verbundkriechfunktionen. Auch die Versagenstemperaturen sind nahezu gleich (s. Bild 6.47).

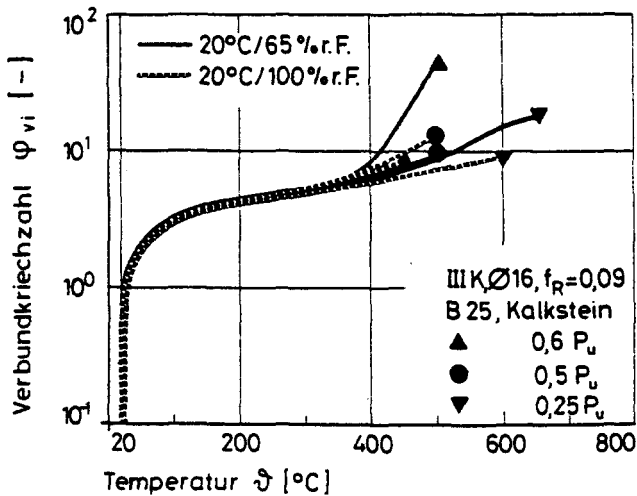


Bild 6.47: Temperaturabhängiger instationärer Kriechverlauf von Stahl III K und Kalksteinbeton nach unterschiedlicher Lagerungsart

6.8.6 Einfluß von Vorlasten

Üblicherweise sind Verankerungsbereiche vor einer Brandbeanspruchung belastet. Es treten also schon bei Raumtemperatur Verbundkriechverschiebungen auf.

Wie sich eine Vorbelastung auf das instationäre Verbundkriechen auswirkt, ist in Bild 6.48 dargestellt. Die Vorlast wurde in gleicher Höhe wie bei der Temperaturbeanspruchung bei Raumtemperatur über 64 Stunden konstant gehalten. In dieser Zeit ist üblicherweise der größte Anteil der stationären Kriechverschiebungen aufgetreten (s. auch Kapitel 6.9). Wie aus Bild 6.45 zu ersehen ist, bewirken Vorlasten bei Raumtemperatur geringere instationäre Verbundkriechzahlen und geringe Versagenstemperaturen. Die Unterschiede in der Kriechzahl werden bei höheren Temperaturen jedoch geringer.

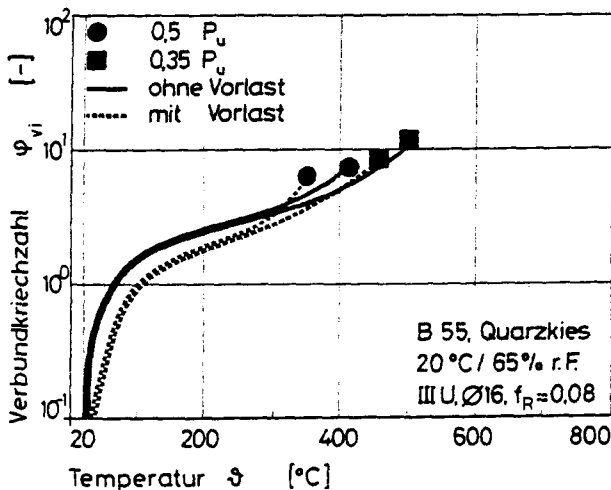


Bild 6.48: Einfluß von Vorbelastungen bei Raumtemperatur auf das instationäre Verbundkriechen bei hohen Temperaturen

6.8.7 Einfluß exzentrischer Stabanordnung

Mit zwei zusätzlichen Serien wurde der Einfluß exzentrischer Stabanordnung auf das instationäre Verbundkriechen untersucht. Der Stab war auf der Seitenmittellinie angeordnet. Die Betondeckung betrug $c = 2 d_s$.

Bei einer Serie wurde der Versuchskörper einseitig beflammt. Dies wurde erreicht durch Abkleben mit zwei Lagen Wärmedämmplatten. Die Temperaturerhöhung auf der nicht beflamten Seite betrug max. 20 °C.

In Bild 6.49 sind die instationären Kriechzahlen φ_{ki} von zentrischen, exzentrischen und einseitig aufgeheizten exzentrischen Versuchen gegenübergestellt.

Bei allen Versuchsanordnungen ergeben sich für alle Lastausnutzungen einheitliche Kriechzahlen. Die einseitig aufgeheizten Versuche erbringen bei gleicher Temperatur die größten Kriechzahlen, die zentrischen die geringsten.

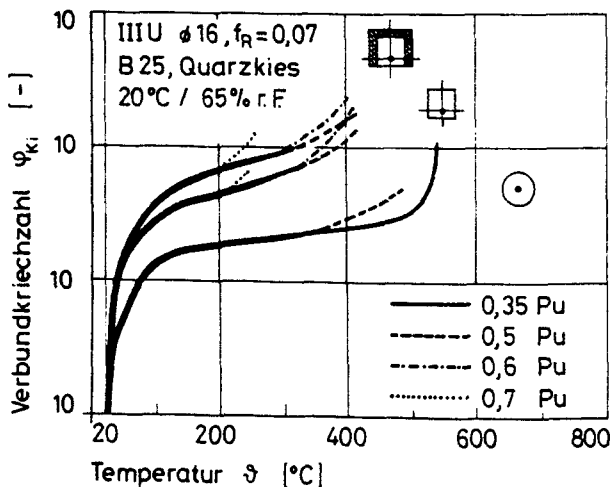


Bild 6.49: Einfluß der Stabanordnung auf das instationäre Verbundkriechen bei hohen Temperaturen

6.8.8 Versagenstemperaturen

Die Abhängigkeit der Versagenstemperatur vom Belastungsgrad P/P_u bzw. τ/τ_u (20 °C) ist in Bild 6.50 für Betone mit Quarzkies bzw. Blähton und Blähschiefer dargestellt. Der Stahl war ein III K, $f_R = 0,09$. Die Steilabfälle an bestimmten Belastungsgraden markieren einen Wechsel in der Versagensart. Es läßt sich stets eine Grenzlast P_G angeben, die die Bereiche mit Gleit- bzw. Sprengbrüchen, verbunden mit beträchtlicher Streuung der Versagenstemperatur, trennt. Lasten $P > P_G$ führen bei niedrigen Versagenstemperaturen zum Sprengbruch. Lasten $P < P_G$ führen zu hohen Versagenstemperaturen und Gleitbruch. Bei Versagenstemperaturen über rd. 700 °C tritt Stahlversagen auf. Wegen der Streuungen bei Normalbeton ist es hier sinnvoll, eher von einem Grenzlastbereich als von einer definitiven Grenzlast zu sprechen.

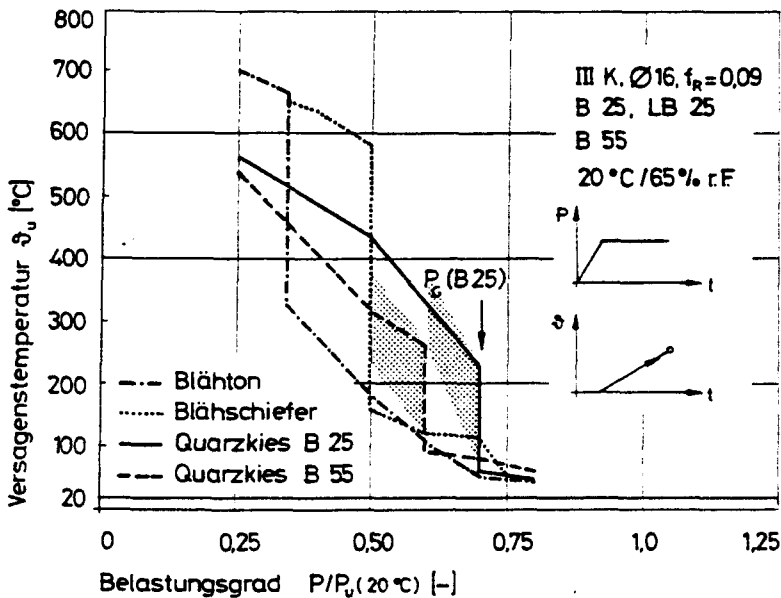


Bild 6.50: Vergleich der Versagenstemperaturen beim instationären Kriechversuch in Abhängigkeit vom Belastungsgrad

Bei Quarzkiesbeton wird der Grenzlastbereich bei $P < P_G$ durch beträchtliche Streuungen der Versagenstemperaturen angekündigt (Streubereich, punktierte Fläche). Es ergeben sich jedoch noch keine Sprengbrüche. Bei Leichtbeton treten außerhalb des Grenzlastbereichs nahezu keine Streuungen der Versagenstemperatur auf. Insgesamt liegen die Versagenstemperaturen des Leichtbetons für Lasten $P < P_G$ bedeutend über denen des Quarzkiesbetons.

Stellt man nun die Versagenstemperaturen von zentrischen und exzentrischen Versuchen gegenüber, so erkennt man, wie in Bild 6.51 dargestellt, daß sich der Grenzlastbereich bei exzentrischer Stabanordnung deutlich zu höheren Belastungsgraden verschiebt.

Zusätzlich mit in die Darstellung aufgenommen wurden Ergebnisse von Tastversuchen mit exzentrischen Doppelstabanordnungen. Es zeigt sich, daß mit abnehmendem Stababstand bei höheren Belastungsgraden von $P/P_u = 0,80$ noch Versagenstemperaturen von über 400 °C erreicht werden können.

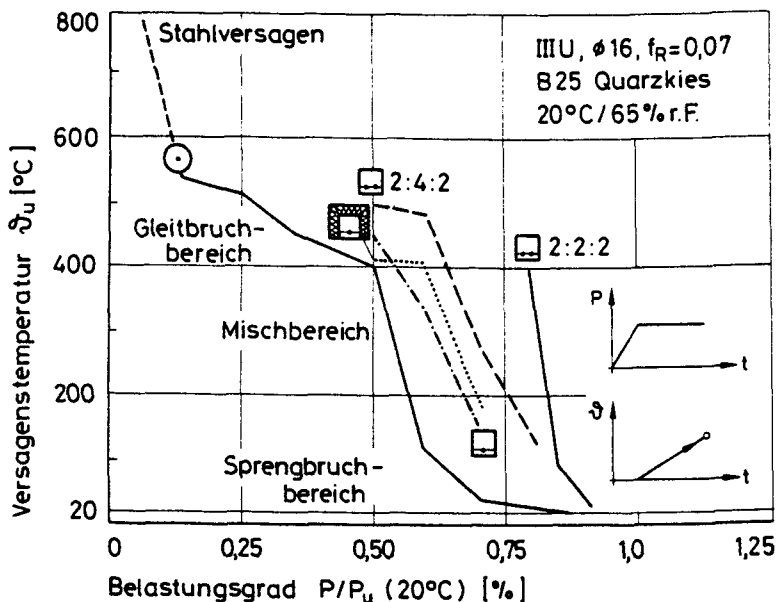


Bild 6.51: Vergleich der Versagenstemperaturen bei instationärem Kriechversuch in Abhängigkeit von der Stabanordnung

6.9 Stationäres Verbundkriechen

6.9.1 Allgemeines

Bei einem stationären Kriechversuch werden die Stabendverschiebungen ermittelt, die unter konstanter Last und konstanter Temperatur auftreten.

Dies kann im Anschluß an das instationäre Kriechen, aber auch nach einer Belastung während konstant hoher Temperaturen sein.

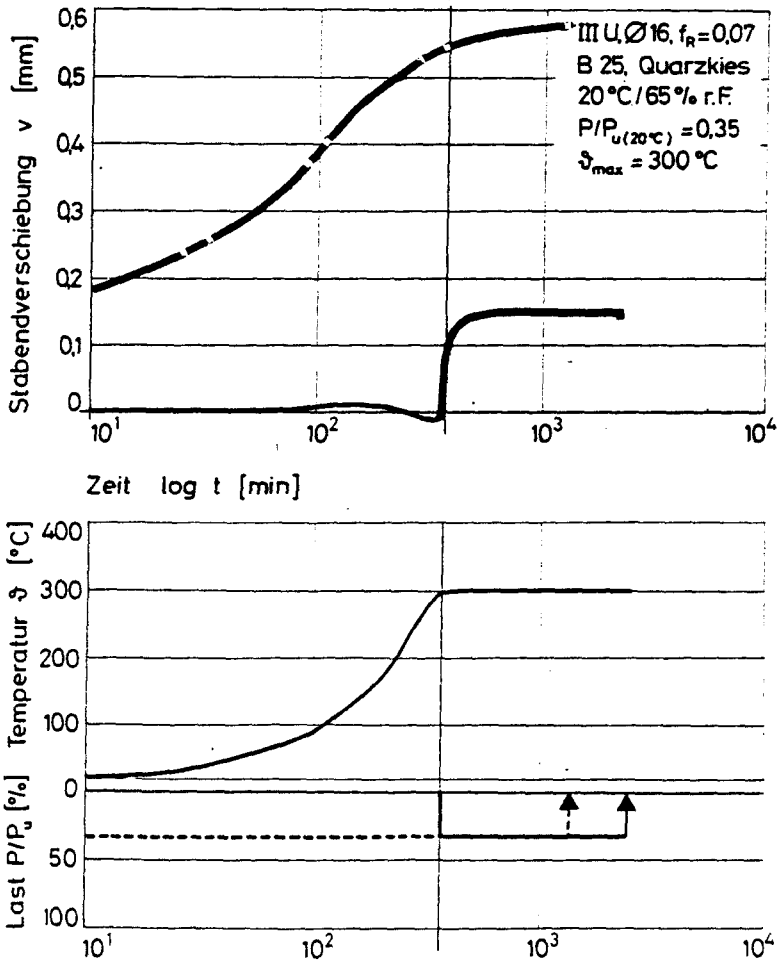


Bild 6.52: Stationäres Verbundkriechen nach Aufheizung ohne und unter Last

Bild 6.52 gibt die Stabendverschiebungen für die beiden Last-Temperatur-Zeit-Verläufe wieder.

Wie hier für den Quarzkiesbeton B 25 und Betonrippenstahl III U, $f_R = 0,07$ dargestellt, ergeben sich erwartungsgemäß für beide Versuchsarten unterschiedliche Stabendverschiebungen. Aufgrund ähnlicher Verbundgesetze für 20 °C und 300 °C ergeben sich bei Belastung nahezu die gleichen spontanen Verschiebungen v_0 . Nach dem instationären Kriechen, das mit großen Stabendverschiebungen verbunden ist, ergeben sich dann bei stationären Temperaturen geringere Verschiebungen. Der Vergleich zeigt außerdem, daß sie auch geringer sind als die nach einer Belastung bei hohen Temperaturen auftretenden Stabendverschiebungen.

Die dargestellten Stabendverschiebungen sind um jenen Anteil reduziert, der sich aus lastfreier Aufheizung ergibt. Außerdem wurden die Verschiebungen subtrahiert, die sich bei Temperaturen über 300 °C und langer Einwirkungszeit aus dem Abbau der Zwangsbeanspruchung ergeben.

6.9.2 Stationäres Kriechen nach Aufheizung unter Last

Die Untersuchungen wurden überwiegend mit Quarzkiesbeton B 25 und Betonrippenstahl III U, $f_R = 0,07$ durchgeführt. Es wurden zwei Lastausnutzungsgrade $P/P_{u(20^\circ\text{C})} = 0,35$ und $0,50$ gewählt. Das stationäre Kriechen wurde bei 300 °C, 400 °C und zum Vergleich bei Raumtemperatur untersucht.

Bei den Hochtemperaturuntersuchungen betrug der betrachtete Zeitraum rd. 24 Stunden \approx 1000 Minuten, bei den bei 20 °C rd. 72 Stunden \approx 4000 Minuten.

In Bild 6.53 sind die Stabendverschiebungen unter konstanten Temperaturen in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Es ist zu sehen, daß die Zunahme der Stabendverschiebung nach Belastung im gesamten Zeitraum bei Raumtemperatur größer ist als die bei gleicher Lastausnutzung und höheren Temperaturen.

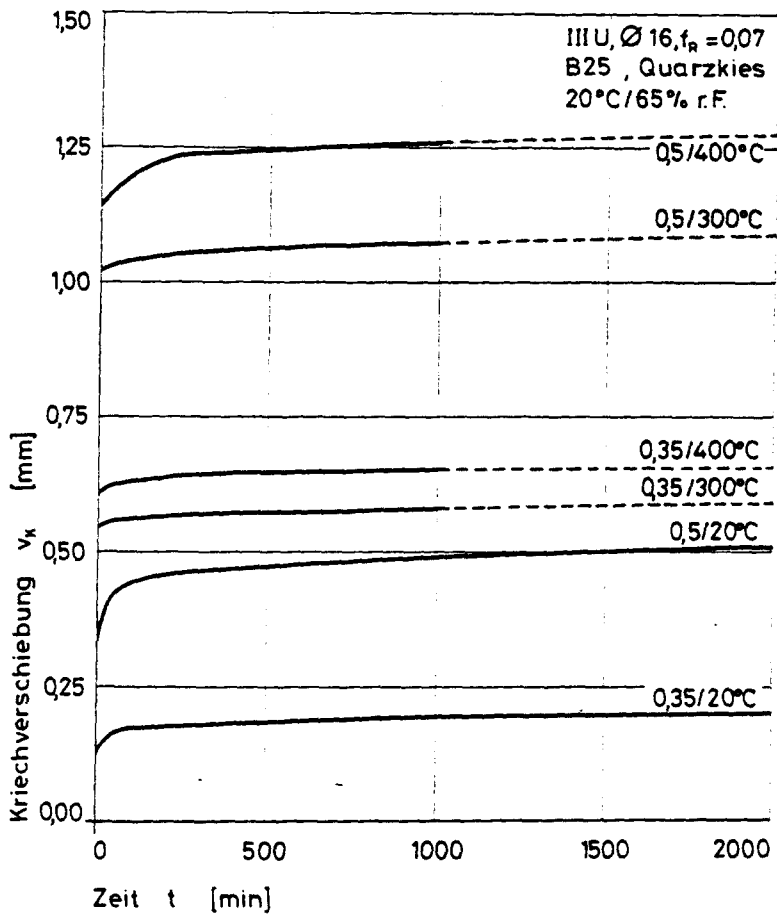


Bild 6.53: Zeitabhängige Kriechverschiebung bei unterschiedlichen Belastungsgraden und Temperaturen

Ein Maß zur Abschätzung des stationären Verbundkriechens ist die Verbundkriechzahl φ_{vk} . Zum Vergleich mit dem Verbundkriechen bei Raumtemperatur wird φ_{vk} auch bei hohen Temperaturen auf die spontane Verschiebung v_0 bei Belastung bezogen. Es gilt:

$$\varphi_{vk} = \frac{v(t) - v_0}{v_0} = \frac{v_k}{v_0} \quad (6.2)$$

In Bild 6.54 sind die Verbundkriechzahlen φ_{vk} für das stationäre Verbundkriechen dargestellt.

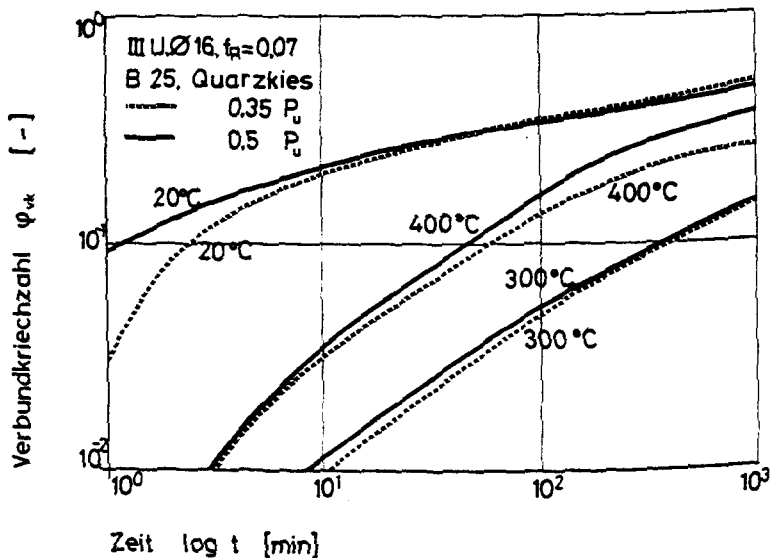


Bild 6.54: Stationärer Verbundkriechverlauf für Stahl III U und B 25 nach Aufheizung unter Last für unterschiedliche Temperaturen

Die Vergleichskurven von 20 °C zeigen schon nach 10 Minuten die auch aus anderen Veröffentlichungen [2.18, 2.19] bekannte Lastunabhängigkeit und Linearität bei Darstellung im doppeltlogarithmischen Maßstab. Auch bei hohen Temperaturen ergibt sich hier annähernd eine Lastunabhängigkeit und Linearität. Die Kriechzahlen sind jedoch kleiner als bei Raumtemperatur. Wie schon bei der Definition der instationären Kriech-

funktion ließe sich auch hier aus der Darstellung ein parabolisches Kriechgesetz in der Form

$$\varphi_{vk}(\vartheta, t) = c(\vartheta) \cdot t^d(\vartheta) \quad (6.3)$$

angeben.

Jedoch liegen hierfür zu wenige Versuchsergebnisse vor, um eine allgemeingültige Funktion formulieren zu können. Aus einer Nebenuntersuchung, die der Ermittlung der Verbundrestfestigkeit nach langer Temperatureinwirkungszeit diente, konnten für Quarzkiesbeton B 55 und Betonrippenstahl IIIU, mit einer bezogenen Rippenfläche $f_R = 0,08$ stationäre Verbundkriechzahlen ermittelt werden. Sie sind in Bild 6.55 dargestellt. Auch hier ergibt sich für 20 °C wieder eine lastunabhängige parabolische Kriechfunktion. Die Kriechzahlen sind jedoch kleiner als für B 25.

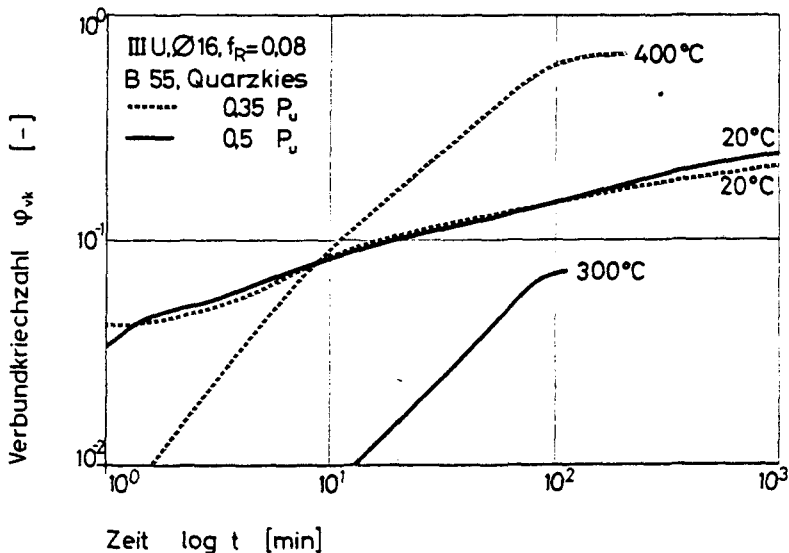


Bild 6.55: Stationärer Verbundkriechverlauf für Stahl IIIU und B 55 nach Aufheizung unter Last für unterschiedliche Temperaturen

Obwohl nur einzelne Ergebnisse bei hohen Temperaturen vorliegen und darüber hinaus auch nur Zeiträume von rd. 250 Minuten untersucht wurden, kann auch hier davon ausgegangen werden, daß unterschiedliche Temperaturen auch zu unterschiedlichen Kriechfunktionen führen. Einschränkend muß hinzugefügt werden, daß sich bei der Lastausnutzung $P = 0,35 P_u$ und 300 °C ab 200 min wieder absinkende Kriechzahlen ergaben. Bei hoher Lastausnutzung und 400 °C traten Kriechbrüche auf.

Abschließend kann jedoch festgestellt werden, daß sich nach einer Aufheizung unter Last bei höheren Temperaturen Kriechzahlen ergeben, die sich von denen bei 20 °C unterscheiden.

6.9.3 Stationäres Verbundkriechen nach Belastung bei hohen Temperaturen

Wie aus Bild 6.47 zu ersehen ist, wurden diese Versuchskörper nach dem Aufheizen belastet. Diese Belastung wurde rd. 24 Std. konstant gehalten. Anschließend wurde unter hohen Temperaturen wieder entlastet. Die bei Entlastung auftretende negative Verschiebung ist sehr gering. Sie ist in Bild 6.47 mit dargestellt.

Die Untersuchungen wurden mit dem gleichen Beton B 25 und Stahl III U durchgeführt wie unter 6.9.2.

Bezieht man die unter hohen Temperaturen auftretenden Verschiebungen auf die spontane Verschiebung $v_o(\vartheta)$, wie bei Raumtemperatur,

$$\varphi_{vko}(\vartheta, t) = \frac{v - v_o(\vartheta)}{v_o(\vartheta)} = \frac{v(\vartheta)}{v_o(\vartheta)} \quad (6.5)$$

so ergeben sich für alle Temperaturen und Lastausnutzungen nahezu die gleichen zeitabhängigen Kriechzahlen φ_{vko} .

Sie sind in Bild 6.56 dargestellt.

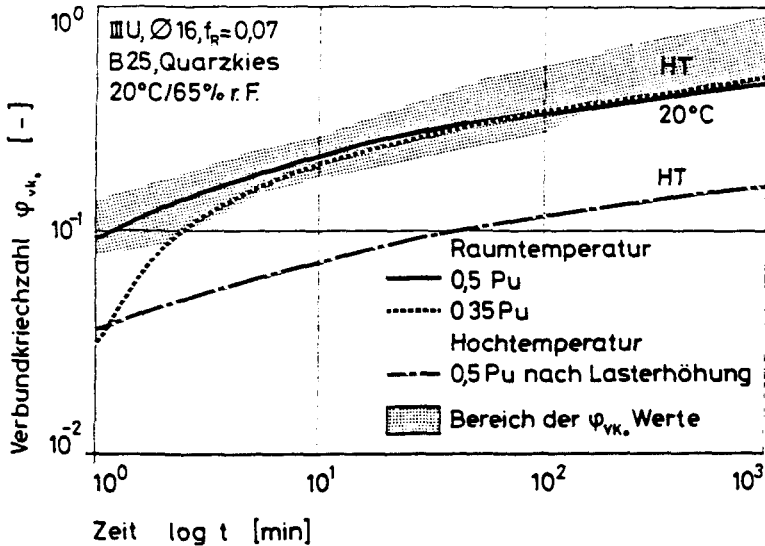


Bild 6.56: Stationärer Verbundkriechverlauf nach Belastung bei hohen Temperaturen für Stahl III U und Quarzkiesbeton B 25

In dem schraffierten Bereich liegen die Ergebnisse für Temperaturen von 300 °C - 500 °C und für beide Lastausnutzungsgrade. In guter Näherung kann hier für alle Temperaturen mit der gleichen Kriechfunktion gerechnet werden wie bei Raumtemperatur.

Um den Einfluß einer Lasterhöhung auf das stationäre Verbundkriechen zu untersuchen, wurde ein Teil der mit $P = 0,35 P_u$ belasteten Versuchskörper nach 2000 Minuten entlastet und anschließend wieder bis zum Lastausnutzungsgrad $P = 0,50 P_u$ belastet. Diese Last wurde dann für rd. 2000 Minuten konstant gehalten.

Zur Ermittlung der Kriechzahl wurde die nun auftretende Stabendverschiebung auf die spontane Verschiebung bei Wiederbelastung bezogen. Dabei ergab sich die gleiche Zeitabhängigkeit der Kriechzahl, die aber kleiner als bei Erstbelastung ausfiel.

7. STAHL- UND VERBUNDSPANNUNGEN SOWIE VERSCHIEBUNGEN BEI KONSTANTEN TEMPERATUREN UND ÄUSSEREN LASTEN

7.1 Vorbemerkungen

Die gebräuchlichen Modelle zur Berechnung brandbeanspruchter Bauteile gehen zumeist von der Annahme vollen Verbundes zwischen Stahl und Beton aus. Diese Annahme wird damit begründet, daß - als weitere Voraussetzung - die Endauflagerbereiche als im "Kalten" liegend aufgefaßt werden. Daraus ergibt sich für die gesamte Branddauer die volle Tragfähigkeit des Verankerungsbereiches der Beton- und Spannstähle.

Weiterhin wird in den Berechnungen die Spannungsverteilung in Längsrichtung durch die Analyse einzelner Querschnitte ermittelt. Über die Spannungsverteilung zwischen den Querschnitten bei unterschiedlichen Spannungen in den betrachteten Bereichen wird keine Aussage getroffen.

Will man jedoch das gesamte brandbeanspruchte Bauteil einschließlich der Endauflagerbereiche rechnerisch auch in Längsrichtung befriedigend erfassen, so müssen Annahmen getroffen werden, die die temperaturabhängige Verbundwirkung zwischen Stahl und Beton berücksichtigen.

Auch wenn für den Brandfall von konstanten äußeren Lasten ausgegangen wird, ergeben sich aus dem temperaturbedingten Zwang Stahlspannungen, die an Endauflagern zu Null abgebaut werden müssen. Zum anderen können infolge von Schnittgrößenumlagerungen auch Stahlspannungsänderungen auftreten.

Eine Veränderung der Stahlzugkraft ist jedoch nur über eine durch Verbund in den Beton einzuleitende Kraft möglich.

Die Darstellung der komplexen Zusammenhänge von temperatur- und lastabhängiger Veränderung der Spannungsverhältnisse entlang eines Bauteils kann nur unter Vereinfachungen und getrennter Erfassung einzelner Einflüsse erfolgen.

In Kapitel 8 wird dargestellt, wie sich Verankerungsbereiche von Beton- und Spannstählen unter instationärer Temperaturbeanspruchung verändern.

Hier sollen zunächst ansatzweise die Veränderungen der Verankerungslängen von Betonrippenstahl bei Belastung unter konstanten Temperaturen erfaßt werden.

Nachdem in Kapitel 6 die temperaturabhängigen Verbundgesetze entwickelt wurden, soll in einem ersten Schritt ganz allgemein dargestellt werden, wie mit daraus abgeleiteten Stoffgesetzen die Spannungsverteilung entlang der Stabachse von beliebig lang eingebetteten Betonrippenstählen bestimmt werden kann.

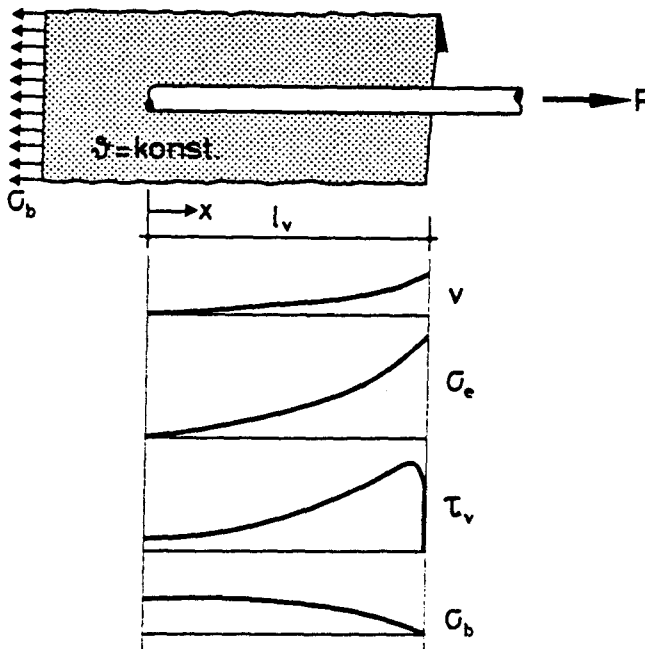


Bild 7.1: Qualitative Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Stabachse beliebig lang einbetonierter Betonstäbe

Bild 7.1 zeigt schematisch das Modell des verankerten Stahles sowie qualitativ die Spannungsverteilungen und Verschiebungen entlang der Stabachse.

Zur Modellbildung wird vorausgesetzt, daß der Stab beliebig lang in einen Betonkörper eingebettet ist. Wie bei Raumtemperatur wird vom Ebenbleiben der Querschnitte ausgegangen, d. h. daß die Summe der Kräfte im Querschnitt gleich Null ist. Es wird ein einachsiger Spannungszustand angenommen. Die Last wird über den Stab in den Beton eingeleitet. Außerdem wird angenommen, daß die Verbundspannungen gleichmäßig über den Stabumfang verteilt angreifen und entlang der Stabachse stetig verteilt sind.

Die bei Raumtemperatur gültige Annahme des elastischen Verhaltens von Beton und Stahl gilt nicht mehr; bei hoher Temperatur müssen die plastischen Verformungsanteile berücksichtigt werden.

7.2. Temperaturabhängige Materialgesetze

7.2.1 Stoffgesetze des Verbundes

7.2.1.1 Allgemeines

Zur Definition der Stoffgesetze des Verbundes wurden die Last-Stabendverschiebungsbeziehungen zugrundegelegt, die im zentrischen Ausziehversuch gewonnen wurden. Bei der Darstellung der Verbundgesetze wurde davon ausgegangen, daß die Verbundspannung τ_v über die Verbundlänge konstant ist: $\tau_v = P / (5 \cdot \pi \cdot d_s^2)$.

Diese Näherung wurde auch für hohe Temperaturen beibehalten. Eine Korrektur der Verbundgesetze, um "Grundgesetze des Verbundes" auch bei hohen Temperaturen zu erhalten, wie in [3.14] vorgeschlagen, wurde nicht durchgeführt, da die Korrekturkurve innerhalb des Streubereichs liegt, der von den Einzelkurven gebildet wird, aus denen sich die Verbundgesetze als Mittelwert-

7.2.1.2 Wahl des Ansatzes zur Beschreibung der temperaturabhängigen Stoffgesetze des Verbundes

In Kapitel 2 wurden die bei Raumtemperatur gebräuchlichen Stoffgesetze zur Beschreibung des Verbundverhaltens dargestellt (s. Bild 2.5). In einem ersten Schritt wurde nun versucht, diese Stoffgesetze auch bei hohen Temperaturen in Ansatz zu bringen.

Mit dem von Martin [2.12] gewählten Stoffgesetz

$$\tau_v = (a + b v^c) \beta_w \quad (7.1)$$

wurden die temperaturabhängigen Koeffizienten bestimmt. Sie wurden auf die jeweilige Betondruckfestigkeit bezogen. Die so ermittelten Stoffgesetze für hohe Temperaturen sind in Bild 7.2 dargestellt. Sie lassen sich nur bereichsweise an die Versuchsergebnisse anpassen, wobei hier der Haftspannungsanteil und der Bereich kleiner Verschiebungen berücksichtigt wurde. Mit diesen Stoffgesetzen kann der Versagensbereich nicht erfaßt werden. Die Funktion weist kein Maximum auf.

In einem nächsten Schritt wurde der Ansatz von Noakowski [2.13] verwandt. Er wurde für die hohen Temperaturen durch eine Exponentialfunktion erweitert:

$$\tau_v = (a \cdot v^b \cdot e^{c \cdot v}) \beta_w \quad (7.2)$$

Die Koeffizienten a und b gelten für das Stoffgesetz bei Raumtemperatur. Sie wurden für hohe Temperaturen als konstant vorausgesetzt. Zur Angleichung der Stoffgesetze an die Verbundgesetze bei hohen Temperaturen verbleibt dann der Koeffizient c. Die so ermittelten Stoffgesetze des Verbundes sind in Bild 7.3 dargestellt.

Auch dieser Ansatz führt zu einer unbefriedigenden Näherung. Bei diesem Ansatz wird der Haftanteil vernachlässigt. Außerdem ergibt sich im Bereich kleiner Verschiebung eine Überschätzung der Verbundspannungen. Zu einer genaueren Approximation müßte über alle drei Koeffizienten frei verfügt werden;

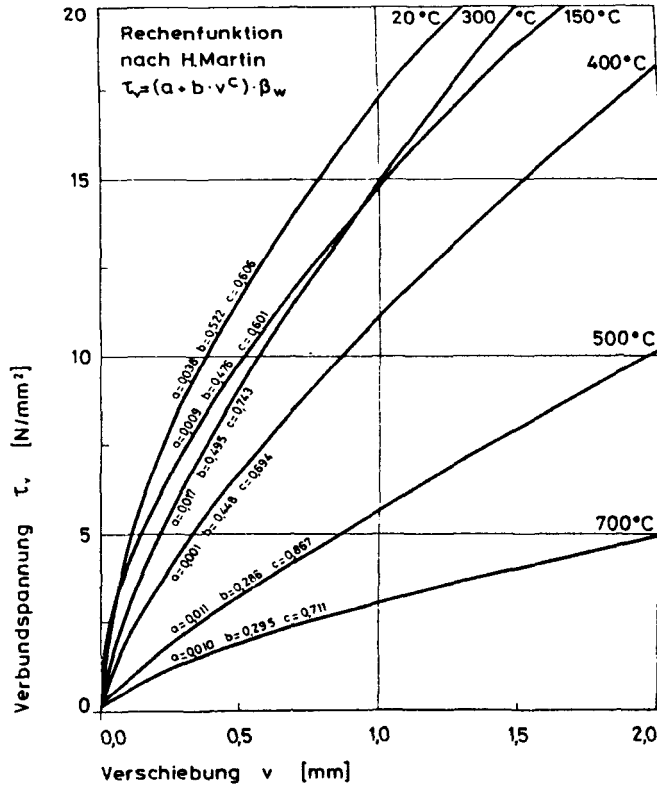


Bild 7.2: Temperaturabhängige Stoffgesetze des Verbundes nach Martin

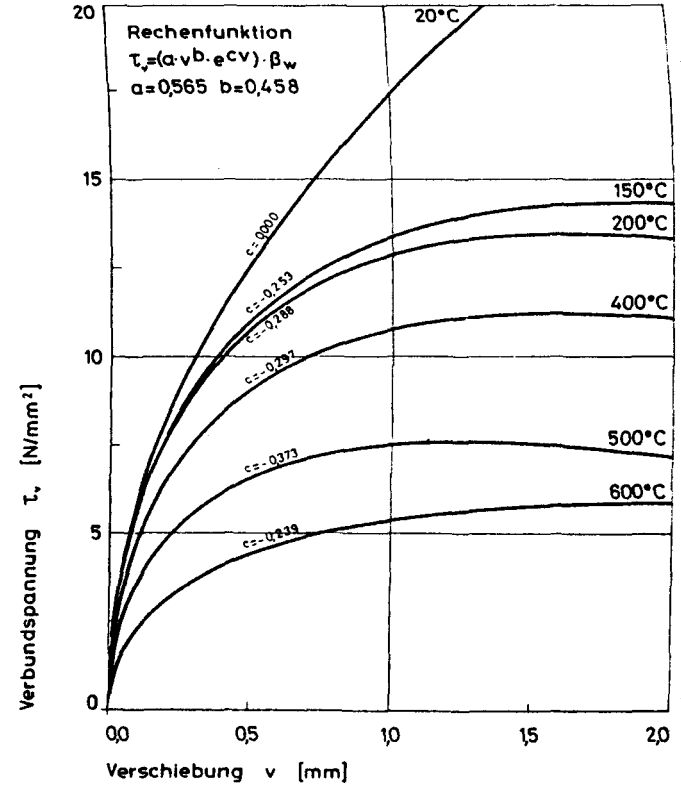


Bild 7.3: Temperaturabhängige Stoffgesetze des Verbundes nach Noakowski

die Ermittlung dieser empirischen Funktion ist in [7.1] beschrieben. Dieser Weg wurde hier jedoch nicht weiter verfolgt.

Als geeigneter handlicher Ansatz ergab sich die von Popovic [7.2] benutzte Funktion zur Beschreibung der Betonarbeitslinie. Mit ihr kann ein Maximum eines Kurvenverlaufs erfaßt werden. Unter Berücksichtigung des Haftspannungsanteils ergab sich das Stoffgesetz

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}} \right)^m} \right) \quad (7.3)$$

mit $\tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$

τ_{max} und v_{max} beschreiben das Maximum des Verbundgesetzes. Der Koeffizient m wurde über die Summe der kleinsten Fehlerquadrate approximiert.

Bild 7.4 zeigt den Vergleich von Verbundgesetzen und Stoffgesetzen für einen Quarzkiesbeton B 25 und Stahl III U. Die Abweichungen sind gering, Haftspannungsanteil, Steifigkeit und Maximum des Verbundgesetzes werden gut erfaßt.

Zur Beschreibung des temperaturabhängigen Stoffgesetzes des Verbundes müssen die folgenden vier Größen bekannt sein:

Haftverbundanteil	$\tau_{vo}(\vartheta)$
Verbundbruchspannung	$\tau_{max}(\vartheta)$
Bruchverschiebung	$v_{max}(\vartheta)$
Verbundkoeffizient	$m(\vartheta)$

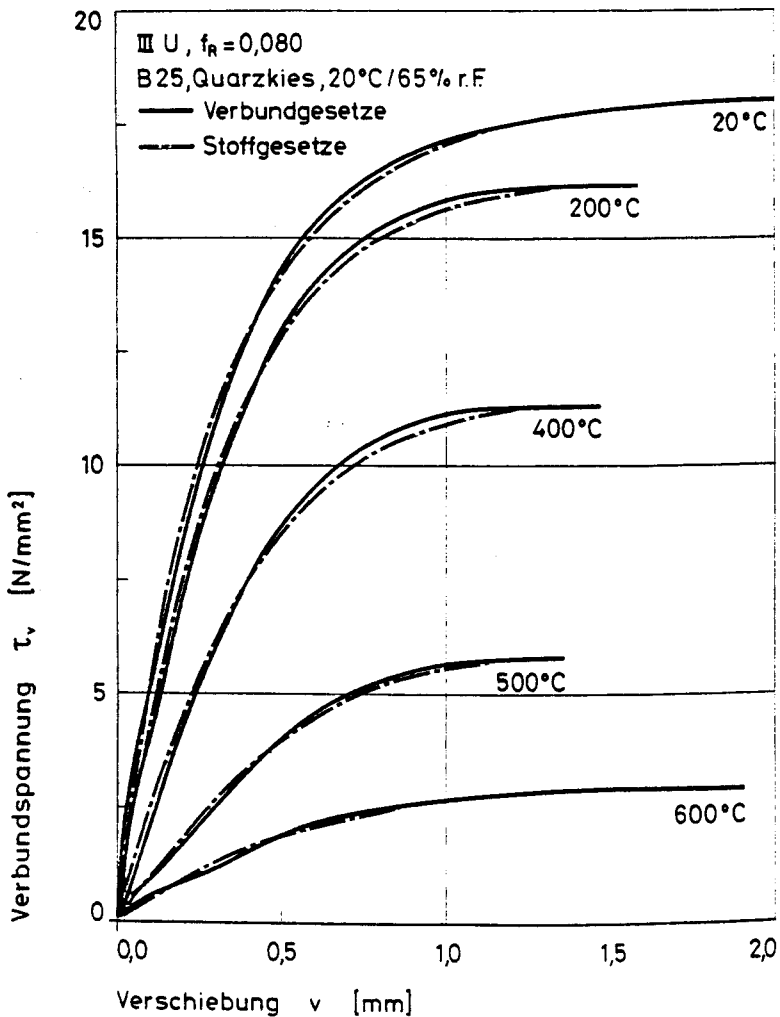


Bild 7.4: Vergleich von temperaturabhängigen Verbund- und Stoffgesetzen mit eigenem Ansatz

Der temperaturabhängige Verlauf dieser Werte ist für B 25 und Stahl III U in Bild 7.5 und für B 55 und Stahl III U in Bild 7.6 dargestellt (weitere Ergebnisse s. [4.1]).

Für die Berechnung wurden deren Verläufe bereichsweise linearisiert. Die Stützstellen der Bereichsgrenzen sind in den Bildern enthalten. Die beiden Verbundspannungen τ_{v0} und τ_{max}

sind in normierter Form dargestellt; sie wurden auf die Verbundbruchspannung bei Raumtemperatur bezogen.

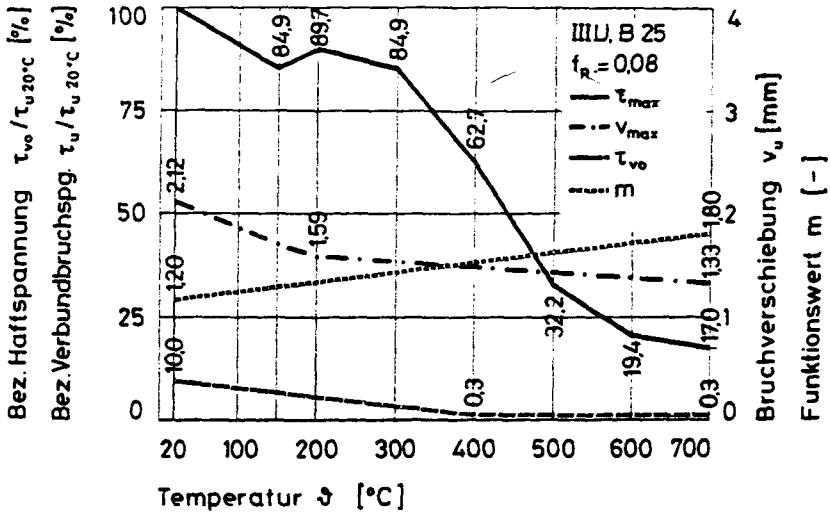


Bild 7.5: Temperaturabhängige Faktoren der Stoffgesetze für Quarzkiesbeton B 25 und Stahl III U

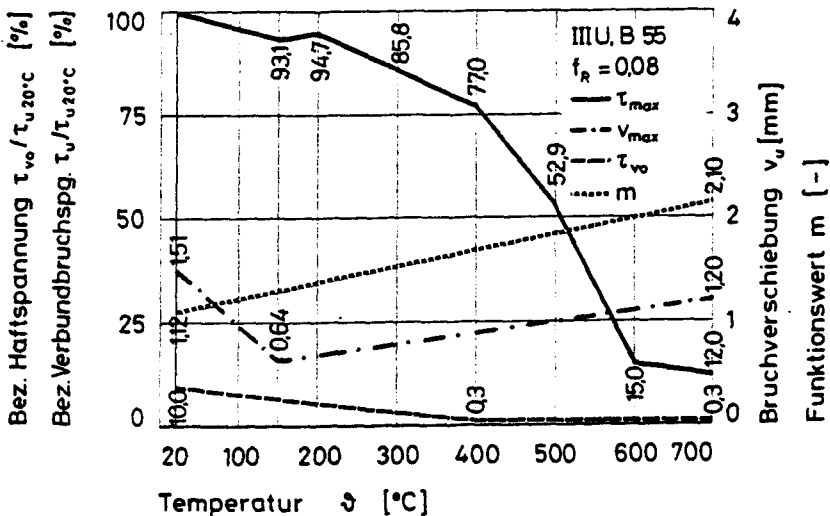


Bild 7.6: Temperaturabhängige Faktoren der Stoffgesetze für Quarzkiesbeton B 55 und Stahl III U

Mit den angegebenen Funktionen lassen sich die Stoffgesetze bis zum Maximum für den gesamten Temperaturbereich beschreiben. Das betrachtete Modell macht es erforderlich, auch die Verschiebungen zu berücksichtigen, die sich nach Erreichen der maximalen Verbundspannungen ergeben.

Als Grundlage hierfür dienen die in Bild 6.12 dargestellten Versuchsergebnisse. Sie wurden in weggesteuerten Ausziehversuchen ermittelt. Diese Verbundgesetze lassen sich in vier Bereiche einteilen. Der qualitative Verlauf ist allgemein in Bild 7.7 dargestellt.

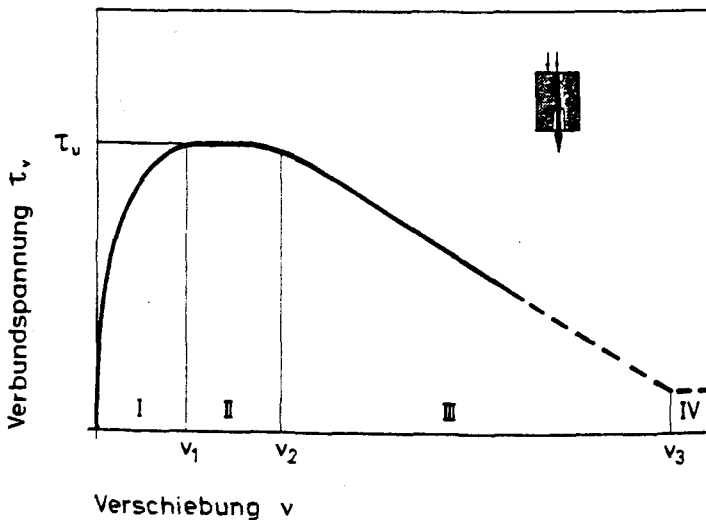


Bild 7.7: Qualitativer Verlauf des Verbundgesetzes

Bereich I ist der Belastungsbereich. Er wird durch das bereits definierte Stoffgesetz beschrieben.

Im Bereich II nehmen die Verschiebungen ohne weitere Laststeigerung zu. Er wird hier definiert:

$$\text{II: } v_{\max} < v < 2 v_{\max} \rightarrow$$

$$\tau_v = \tau_{\max} \quad (7.4)$$

Der Bereich III ist gekennzeichnet durch eine erhebliche Verschiebungszunahme bei fallender Last. Hier wird ein linearer Zusammenhang angenommen:

$$\begin{aligned} \text{III: } 2 \cdot v_{\max} < v < 9,2 \cdot v_{\max} \rightarrow \\ \tau_v &= \tau_{\max} (1 - g(v - 2 \cdot v_{\max})) \\ g &= \tau_{\max} / 8 \cdot v_{\max} \end{aligned} \quad (7.5)$$

Im Bereich IV ergibt sich nurmehr ein konstanter Reibungsverbund. Er entspricht in etwa dem Haftverbund τ_{v0} :

$$\begin{aligned} \text{IV: } v > 9,2 \cdot v_{\max} \rightarrow \\ \tau_v &= 0,1 \tau_{\max} \end{aligned} \quad (7.6)$$

Damit sind die Stoffgesetze des Verbundes definiert.

7.2.2 Temperaturabhängige Materialgesetze des Stahles

7.2.2.1 Allgemeines

Zur Ermittlung der Stahlspannungsverteilung entlang der Stabachse müssen die Materialeigenschaften des Stahles auch für hohe Temperaturen definiert sein. Da eine stetige Belastung bis zum Versagen in Ansatz gebracht wird, müssen die Arbeitslinien im Zugversuch unter hohen Temperaturen ermittelt worden sein. Kriech- und Relaxationseinflüsse sollen hier nicht berücksichtigt werden. Zur Formulierung der Materialgesetze werden nur die Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Stahles unter hohen Temperaturen benötigt.

7.2.2.2 Beschreibung der verwendeten Materialgesetze des Stahles

Die hier verwendeten Materialgesetze für Betonstahl III U sind [7.3] entnommen. Sie wurden in Warmzugversuchen ermittelt.

Bild 7.8 zeigt die Materialgesetze des Stahls III U.

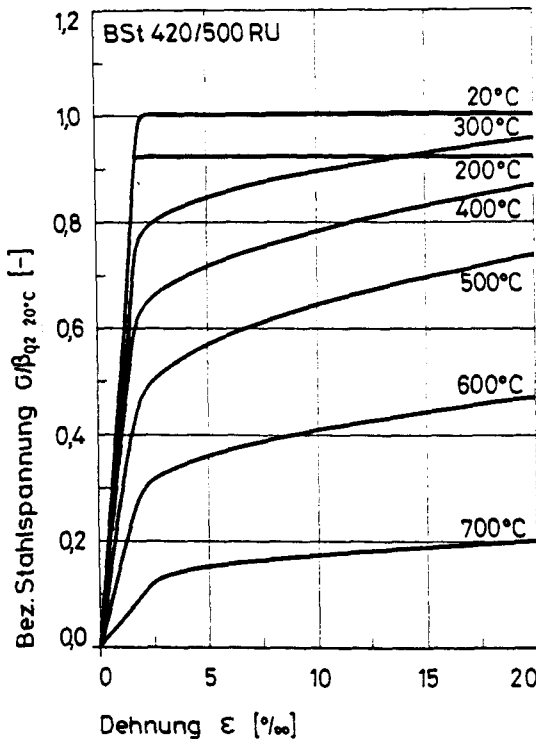


Bild 7.8: Temperaturabhängige Materialgesetze des Stahls nach [7.3]

Diese Materialgesetze können durch die analytische Beschreibung der temperaturabhängigen Größen

Steifigkeit im elastischen Bereich	$E_e(\vartheta)$
Grenzfestigkeit des elastischen Bereichs	$\beta_{ee}(\vartheta)$
Maximale Zugfestigkeit im plastischen Bereich	$\beta_{ez}(\vartheta)$
Maximale Dehnung im plastischen Bereich	$\epsilon_{20}(\vartheta)$

erfaßt werden.

Diese Werte wurden [7.4] entnommen. Sie sind bereichsweise linearisiert. Der temperaturabhängige Verlauf dieser Funktionen ist in Bild 7.9 für Stahl III U dargestellt.

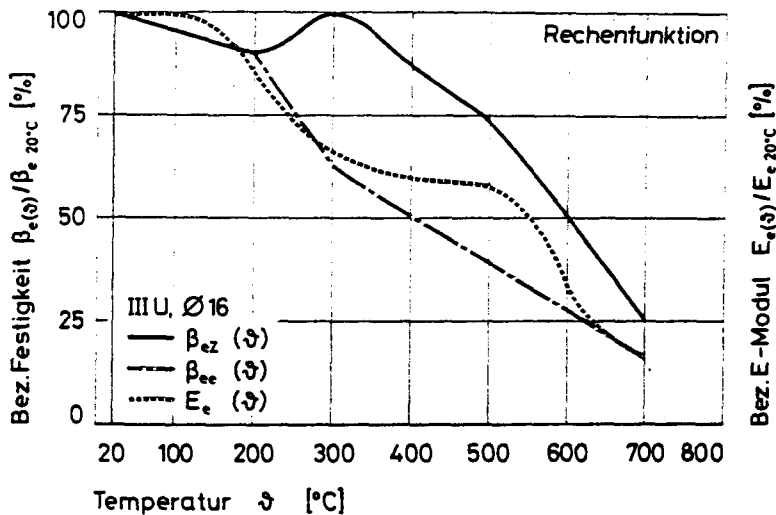


Bild 7.9: Funktionswerte zur Beschreibung der temperaturabhängigen Materialgesetze des Stahles

7.2.3 Temperaturabhängige Materialgesetze des Betons

7.2.3.1 Allgemeines

Das Modell zur Bestimmung der Verankerungslänge geht davon aus, daß eine Stahlzugkraft in den Beton eingetragen wird; d.h. daß der Beton nur auf Zug beansprucht wird. Da für den Beton jedoch keine Materialgesetze im Zugbereich vorhanden sind, müssen hier Annahmen getroffen werden.

7.2.3.2 Beschreibung der verwendeten Materialgesetze des Betons

Es wird davon ausgegangen, daß Beton im Zugbereich den gleichen Elastizitätsmodul hat wie im Druckbereich. Da die Zugfestigkeit des Betons nur rd. 1/10 der Druckfestigkeit beträgt, wird bis zum Erreichen der Zugfestigkeit lineare Elastizität angenommen. Über die temperaturabhängige Entwicklung der reinen Zugfestigkeit liegen keine Erfahrungen vor, so daß

hier in einer Näherung die Spaltzugfestigkeit in Ansatz gebracht wird.

Die temperaturabhängigen Funktionen des E-Moduls und der Spaltzugfestigkeit des Betons sind in Bild 7.10 dargestellt.

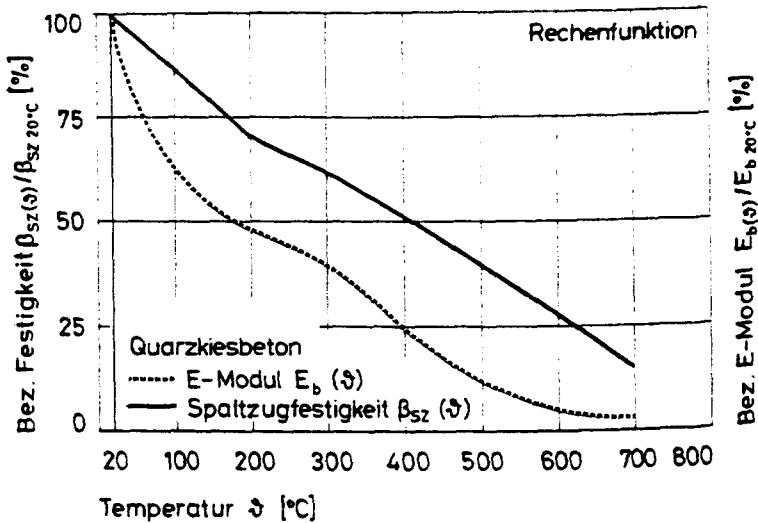


Bild 7.10: Funktionswerte zur Beschreibung der temperaturabhängigen Materialgesetze des Betons

Die Funktion für den Verlauf des E-Moduls ist [7.5] entnommen. Der Verlauf der Spaltzugfestigkeit wurde mit Polynomen beschrieben, die aus eigenen Versuchen hergeleitet wurden. Die Zugfestigkeit errechnet sich unter Berücksichtigung der temperaturabhängigen Funktion $f(\theta)$ zu:

$$\beta_{bz} = f(\theta) \cdot 0,24 \cdot \beta_{ws}^{2/3}$$

Hier wurde als Druckfestigkeit die Serienfestigkeit β_{ws} nach DIN 1045 in Ansatz gebracht.

7.3 Rechenansätze zur Ermittlung der Spannungsverteilung und Stabverschiebung entlang der Stabachse eines geraden Haftankers

7.3.1 Vorbemerkungen

In einem ersten Schritt soll hier ganz allgemein für hohe Temperaturen die Verankerungslänge eines Betonrippenstahles in einem Betonkörper ermittelt werden. Hierzu sind einige Annahmen zu treffen:

- Es wird davon ausgegangen, daß die Last bei konstanten Temperaturen stetig bis zum Stahlversagen eingetragen wird.
- Die Betondehnung wird nur näherungsweise berücksichtigt. Hierzu wird als Flächenverhältnis $\mu = \frac{F_e}{F_b} = 0,5$ % angenommen. Das Verhältnis der E-Moduli $n(\vartheta) = \frac{E_e(\vartheta)}{E_b(\vartheta)}$ ergibt sich aus den definierten Funktionen. Im Bereich der plastischen Dehnungen wird für den Stahl hier näherungsweise der Sekantenmodul aus dem angegebenen Materialgesetz zu $E_{es}(\vartheta) = \sigma_e / \epsilon_e$ ermittelt.
- Ein Betonzugversagen wird nicht in die Rechnung einbezogen.
- Die im Ausziehversuch mit einer Verbundlänge $l_v = 5d_s$ gewonnene Verbundspannungs-Verschiebungsbeziehung gilt in gleicher Form an jeder Stelle des einbetonierten Stabes.
- Es wird eine Anfangsverschiebung $v_o = 0,001$ mm angenommen. Ihr zugehörig ist der Haftspannungsanteil τ_{vo} .
- Die sich aus unterschiedlicher thermischer Dehnung ergebenden Beton- und Stahlspannungen bleiben hier vorerst unberücksichtigt.

7.3.2 Allgemeine Differentialbeziehungen

Die allgemeinen Differentialgleichungen des verschieblichen Verbundes wurden in Kapitel 2 hergeleitet. Sie gelten hier gleichermaßen unter Berücksichtigung der temperaturabhängigen Stoffgesetze:

$$\frac{dv(x, \vartheta)}{dx} = \frac{\sigma_e(x, \vartheta)}{E_e(\vartheta)} \cdot (1 \pm n(\vartheta) \cdot \mu) \quad (7.7)$$

$$\frac{d\sigma_e(x, \vartheta)}{dx} = \frac{4}{d_s} \cdot \tau_v(x, \vartheta) \quad (7.8)$$

$$\frac{d^2v(x, \vartheta)}{dx^2} = \frac{4}{d_s} \cdot \frac{(1 \pm n(\vartheta) \cdot \mu)}{E_e(\vartheta)} \cdot \tau_v(x, \vartheta) \quad (7.9)$$

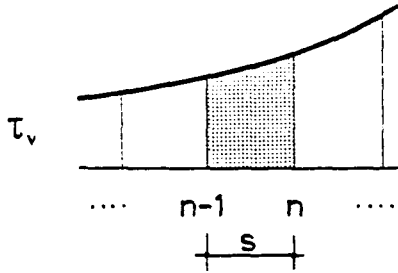
In dieser Gleichung ergibt sich für eine Druckbeanspruchung ein positives Vorzeichen und für eine Zugbeanspruchung ein negatives.

7.3.3 Näherungslösung durch schrittweise Integration

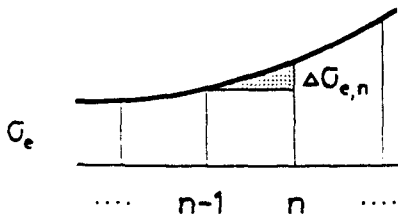
Die Lösung von 7.8 - 7.10 wird hier in Anlehnung an [2.16] als Näherung durch schrittweise Integration vorgenommen. Der Lösungsweg ist in Bild 7.11 dargestellt.

Im ersten Integrationsschritt, bei der Bestimmung der Verbundkraft T_n , muß τ_n gewählt werden; es wird hier $\tau_n = \tau_{n-1}$ gesetzt. Die Rechnung wird dann mit dem neu ermittelten τ_n so lange wiederholt, bis die Differenz des neu ermittelten τ_n zum vorhergehenden τ_n kleiner ist als eine vorgegebene Schranke; diese Iteration konvergiert sehr schnell.

Mit Erreichen der temperaturabhängigen Zugfestigkeit des Stahles $\beta_{ez}(\vartheta)$ wird die Rechnung beendet. Die Verankerungslänge ℓ_v ergibt sich dann aus der Anzahl n der Integrationsschritte und der Schrittweite s : $\ell_v = n \cdot s$.



$$T_n = \frac{(\tau_{v,n-1} + \tau_{v,n})}{2} \cdot u \cdot s \quad (7.10)$$



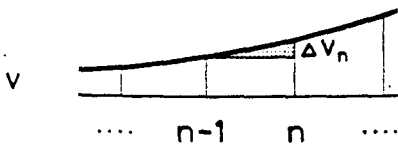
$$\Delta\sigma_{e,n} = T_n / F_e \quad (7.11)$$

$$\sigma_{e,n} = \sigma_{e,n-1} + \Delta\sigma_{e,n} \quad (7.12)$$

$$\epsilon_{e,n} = f(\sigma_{e,n}) \quad (7.13)$$

$$E_{e,n} = \sigma_{e,n} / \epsilon_{e,n} \quad (7.14)$$

$$n_n = E_{e,n} / E_b \quad (7.15)$$



$$\Delta v_n = \frac{s \cdot (1 - n_n \cdot \mu)}{2 \cdot E_{e,n}} (2 \cdot \sigma_{e,n-1} + \Delta\sigma_{e,n}) \quad (7.16)$$

$$v_n = v_{n-1} + \Delta v_n \quad (7.17)$$

$$\tau_{v,n} = f(v_n) \quad (7.18)$$

Bild 7.11: Lösungsweg der schrittweisen Integration

7.3.4 Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Stabachse

Mit dem angegebenen Rechenansatz wurden die Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Stabachse für unterschiedliche Temperaturen bestimmt. Die in Bild 7.12 dargestellten Ergebnisse gelten für Betonstahl III U und Quarzkiesbeton B 25. Erwartungsgemäß nehmen die Verankerungslängen mit steigender Temperatur zu. Dies ist im wesentlichen begründet im Absinken des Haftverbundes und im Verweichen der Verbundgesetze.

Aufgrund der Definition der Materialgesetze des Stahles, die bis 300 °C nach Erreichen der Fließgrenze keine weiteren Spannungssteigerungen ermöglichen, werden hier die maximalen Verbundspannungen nicht erreicht. Jedoch auch bei höheren Temperaturen bleiben die Verbundspannungen beim Erreichen der Zugfestigkeit des Stahles immer geringfügig unter der Verbundbruchspannung τ_u .

Daraus läßt sich ableiten, daß beim B 25 mit ausreichender Betondeckung und Verankerungslänge kein Versagen eines Bauteils durch Gleitbruch, d. h. Herausziehen des Stahles, sondern vielmehr durch Stahlfließen eintreten müßte.

Die in Bild 7.13 dargestellten Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen gelten für Quarzkiesbeton B 55 und Stahl III U. Durch die steiferen Verbundgesetze werden die Stahlspannungen auf kürzeren Verankerungslängen bis zur Zugfestigkeit erhöht als beim B 25. Die Verankerungslängen sind hier bis 500 °C nur rd. halb so groß wie beim B 25. Über 200 °C werden beim B 55 mit dem Eintreten des Stahlfließens auch die maximalen Verbundspannungen erreicht, bei 600 °C wird der Bereich I des Stoffgesetzes (s. Bild 7.7) sogar überschritten, d. h. daß hier bei zügiger Belastung Verbundversagen eintreten könnte.

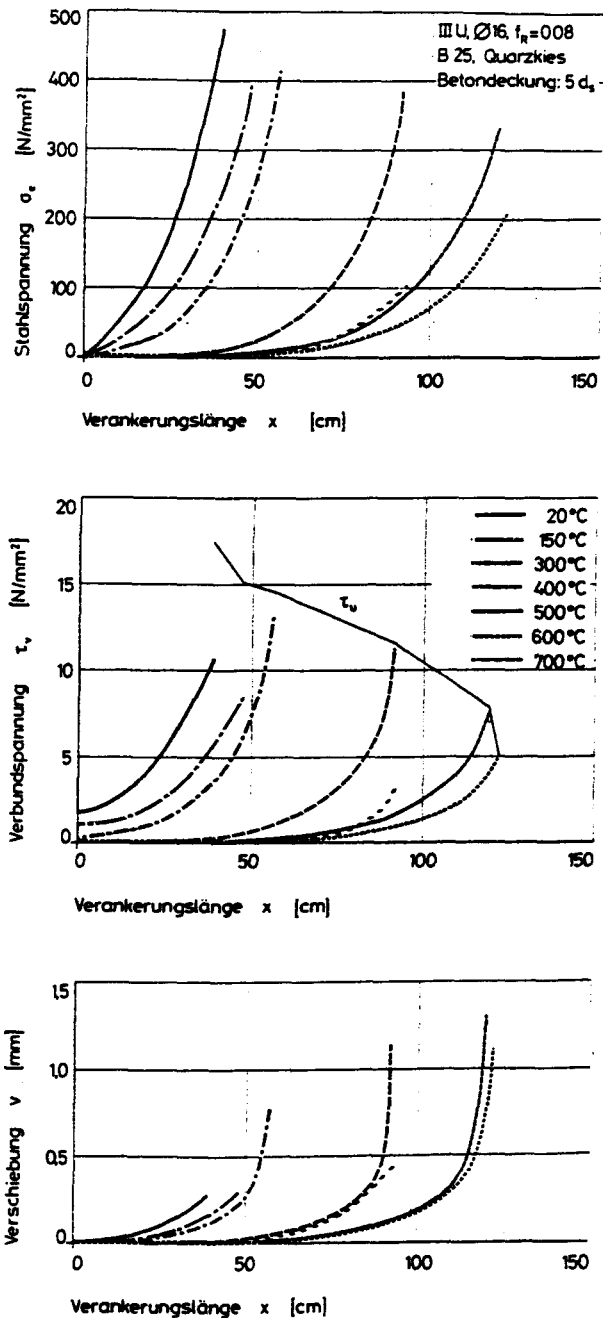


Bild 7.12: Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Stabachse für B 25 und Stahl III U

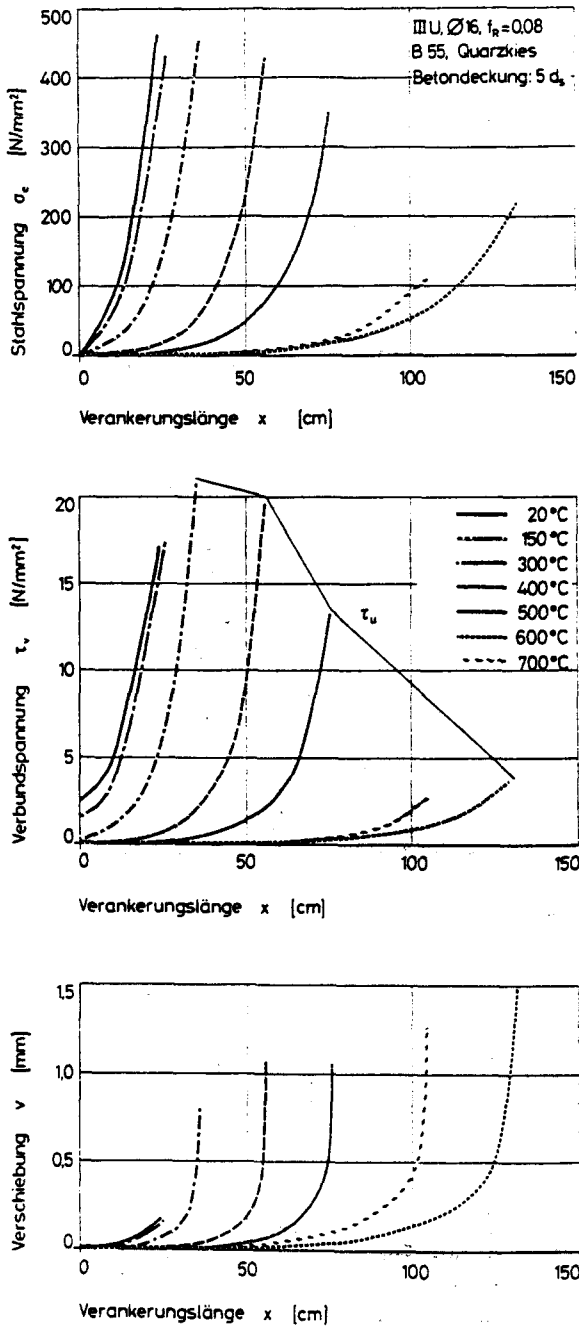


Bild 7.13: Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Stabachse für B 55 und Stahl III U

7.3.5 Untersuchung mit vorgegebenen Verankerungslängen nach DIN 1045

Nach DIN 1045 Abschnitt 18.5.2 ist zur Verankerung von Betonrippenstählen mit geraden Stabenden die Verankerungslänge l_o einzuhalten. Diese Stabverankerung sei voraussetzungsgemäß im Gebrauchszustand mit der zulässigen Stahlspannung $\sigma_{e,zul} = 240 \text{ N/mm}^2$ beansprucht, die sich auch bei steigen-der Temperatur nicht verändern möge (Verankerung innerhalb eines statisch bestimmten Bauteils). Bestimmt man mit den definierten Materialgesetzen die Verankerungslänge für hohe Temperaturen, wie in Kapitel 7.3.2 beschrieben, so ist zu erkennen, daß schon bei 300°C die Verankerungslänge l_o ausgenutzt wird (B 55: $l_o = 320 \text{ mm}$, B 25: $l_o = 533 \text{ mm}$). Die Spannungen und Verschiebungen entlang der Verankerungslänge l_o sind im Bild 7.14 für B 25 und im Bild 7.15 für B 55 dargestellt.

Will man auch bei höheren Temperaturen die vorgegebene Stahlspannung $\sigma_{e,zul}$ erreichen, so gelingt das nur, wenn die Stabverschiebungen an der Stelle $x = 0$ erhöht werden. Dadurch ergeben sich über das Stoffgesetz des Verbundes auch größere Verbundspannungen, die zu einer Erhöhung der Stahlspannungen führen.

Aus den beiden Darstellungen ist zu entnehmen, daß durch das "Hineinschlupfen" des Stahles eine Erhöhung der Stahlspannungen erfolgt, so daß der Wert $\sigma_{e,zul}$ noch innerhalb der Verankerungslänge l_o erreicht wird.

Ab rd. 600°C sinkt die temperaturabhängige Stahlzugfestigkeit $R_{ez}(\vartheta)$ unter $\sigma_{e,zul}$. Das heißt, daß die Berechnung mit Erreichen von $R_{ez}(\vartheta)$ innerhalb der Verankerungslänge l_o abgebrochen werden kann. Doch um diese Bedingung zu erfüllen, müssen die Stabendverschiebungen beträchtlich gesteigert werden. Dies gilt insbesondere für den B 55. Der Stahl ist erheblich verweicht. Die Stoffgesetze des Verbundes für B 25 und B 55 sind nahezu gleich. Da jedoch die Zugfestigkeit $R_{ez}(\vartheta)$ versagensbestimmend ist, muß diese beim B 55 auf kürzerer Verankerungslänge l_o erreicht werden. Dies führt zu erheblichen

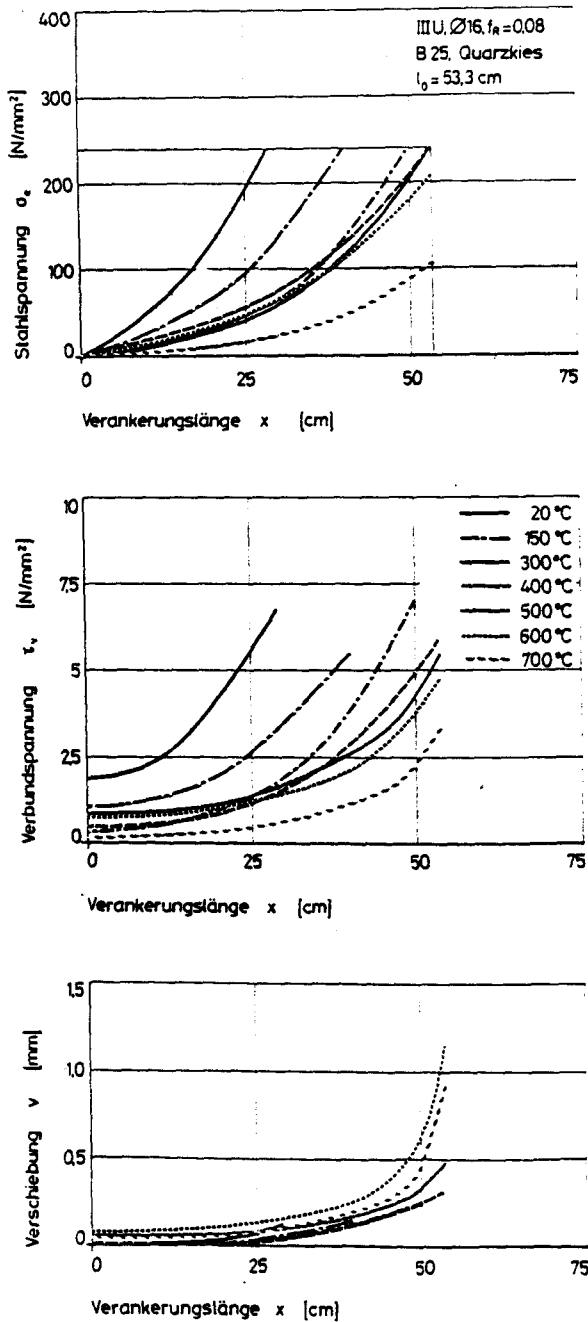


Bild 7.14: Spannungsverteilungen und Stahlverschiebungen entlang der Stabachse für B 25 und Stahl III U unter Berücksichtigung von l_0 nach DIN 1045

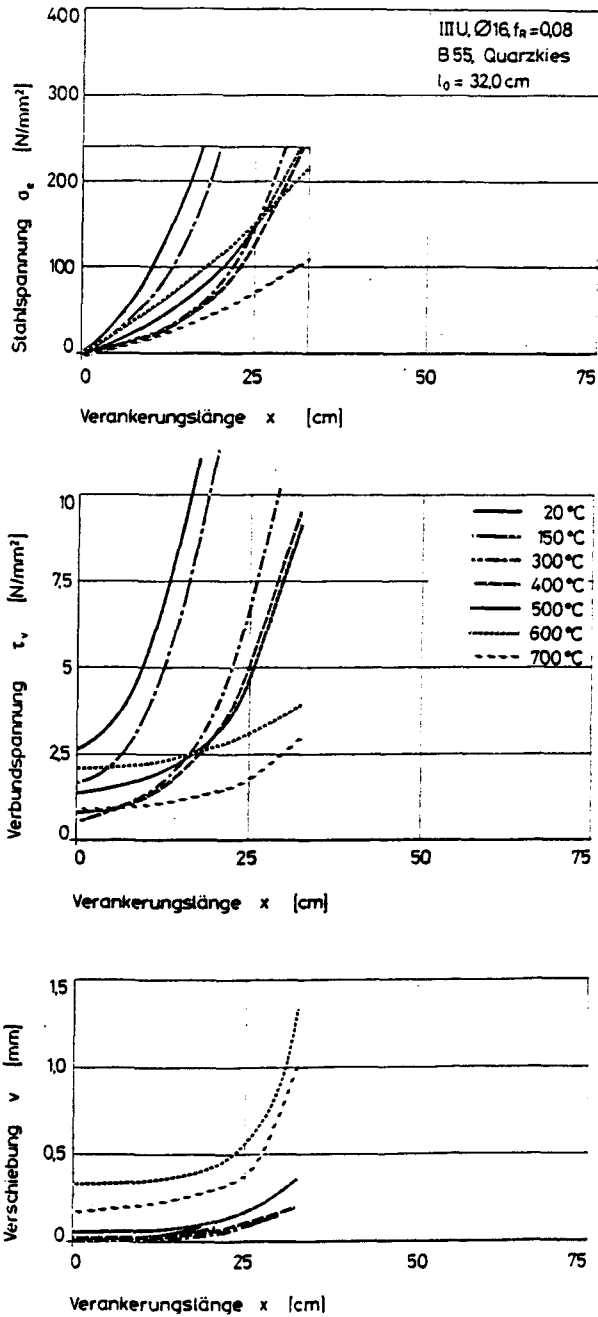


Bild 7.15: Spannungsverteilungen und Stahlverschiebungen entlang der Stabachse für B 55 und Stahl III U unter Berücksichtigung von l_0 nach DIN 1045

Verschiebungen entlang der Stabachse, verbunden mit nahezu linearen Spannungsverteilungen. Auch bei hohen Temperaturen bleiben die Verbundspannungen beim Erreichen der temperaturabhängigen Zugfestigkeit des Stahles noch geringfügig unter den maximalen Verbundspannungen. Dies gilt gleichermaßen für B 25 und B 55.

7.3.6 Einfluß der Betondeckung auf die Spannungsverteilung, Stabverschiebungen und auf das Sprengbruchverhalten

Um den Einfluß der Betondeckung und somit das Sprengbruchverhalten zu erfassen, müssen die Versagenszustände definiert werden. Hierzu werden die Versuchsergebnisse aus Kapitel 6.5 benötigt. Da mit Eckanordnungen des Betonstahls jeweils die geringsten Bruchspannungen erreicht wurden, werden diese Versuchsergebnisse zur Untersuchung des Sprengbruchverhaltens herangezogen. Aus Bild 6.15 wurde deutlich, daß die temperaturabhängigen Verbundgesetze der Eckstäbe annähernd denen mit 5 d_s Betondeckung gleichen. Das Versagen tritt jedoch vor Erreichen der Verbundbruchspannung der 5 d_s-Versuchskörper durch Sprengbruch ein.

Bezieht man nun für jede Betondeckung die jeweilige Verbundbruchspannung der unterschiedlichen Temperaturen auf die Verbundbruchspannung des 5 d_s-Versuchskörpers, so ergibt sich eine nahezu lineare Abhängigkeit der temperaturabhängigen Verbundbruchspannung von der Betondeckung. Bild 7.16 zeigt diesen Zusammenhang.

Über das Stoffgesetz wird beim Erreichen der Sprengbruchspannung verfügt, daß die Verbundspannung sprungartig auf rund $\tau_v = 0,1 \tau_{\max}$ absinkt, sobald die Verschiebungen weiter ansteigen. Die Berechnung der Spannungsverteilung wird jedoch noch bis zum Erreichen des Stahlversagens mit $\tau_v = \text{konst.}$ weitergeführt.

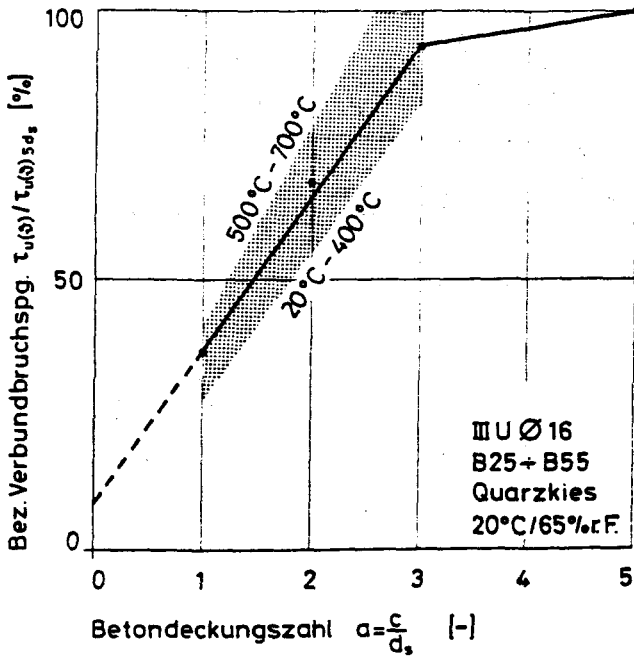


Bild 7.16: Bezogene Sprengbruchspannungen des Verbundes in Abhängigkeit von der Betondeckung

Die Rechnung wurde mit dem in Kapitel 7.33 beschriebenen Rechenansatz durchgeführt. Hierbei wurde nicht berücksichtigt, daß mit dem Aufreißen des Betons naturgemäß auch dessen Dehnungsanteil vernachlässigt werden müßte. Nach dem Aufreißen ergibt sich die Verschiebungen nur noch aus den Stahldehnungen. Wie eine Vergleichsrechnung zeigte, bei der der Betondehnungsanteil insgesamt vernachlässigt wurde, sind die Unterschiede in der Spannungsverteilung jedoch gering.

Die Ergebnisse der Berechnung für Quarzkiesbeton B 25 und Stahl III U sind in Bild 7.17 und für B 55 und Stahl III U

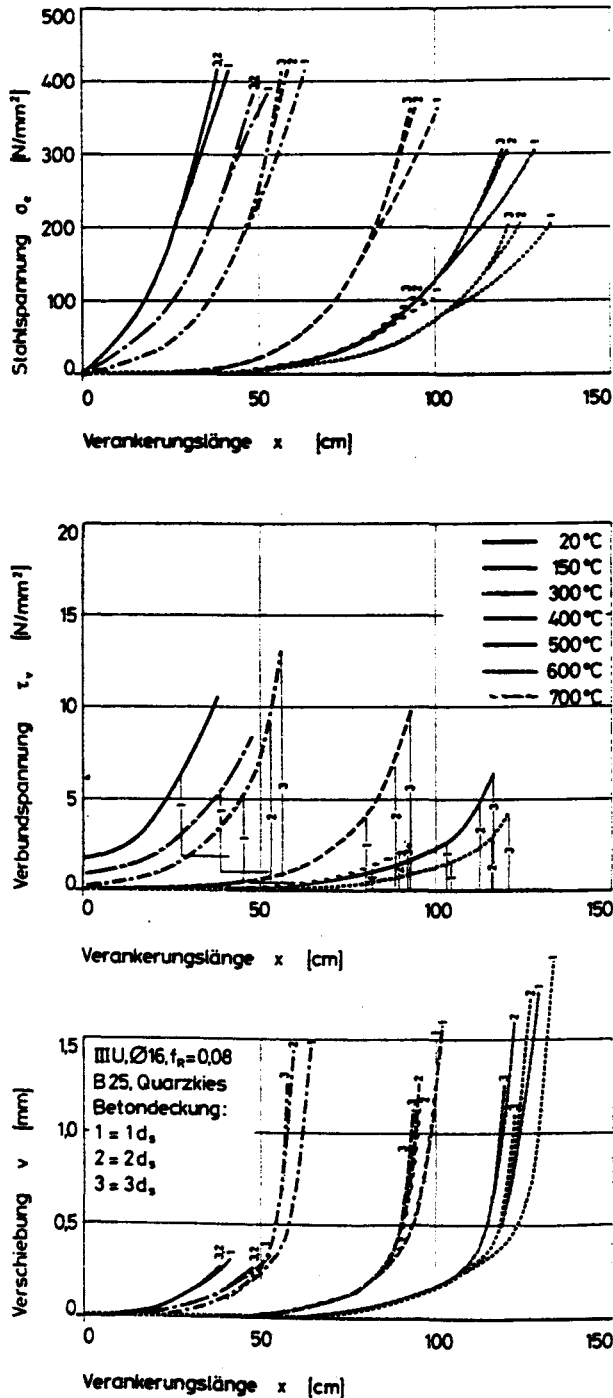


Bild 7.17: Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Stabankerlänge für $\sigma_s = 200$ und $\sigma_s = 300$ unter Berücksichtigung der Temperaturerhöhung

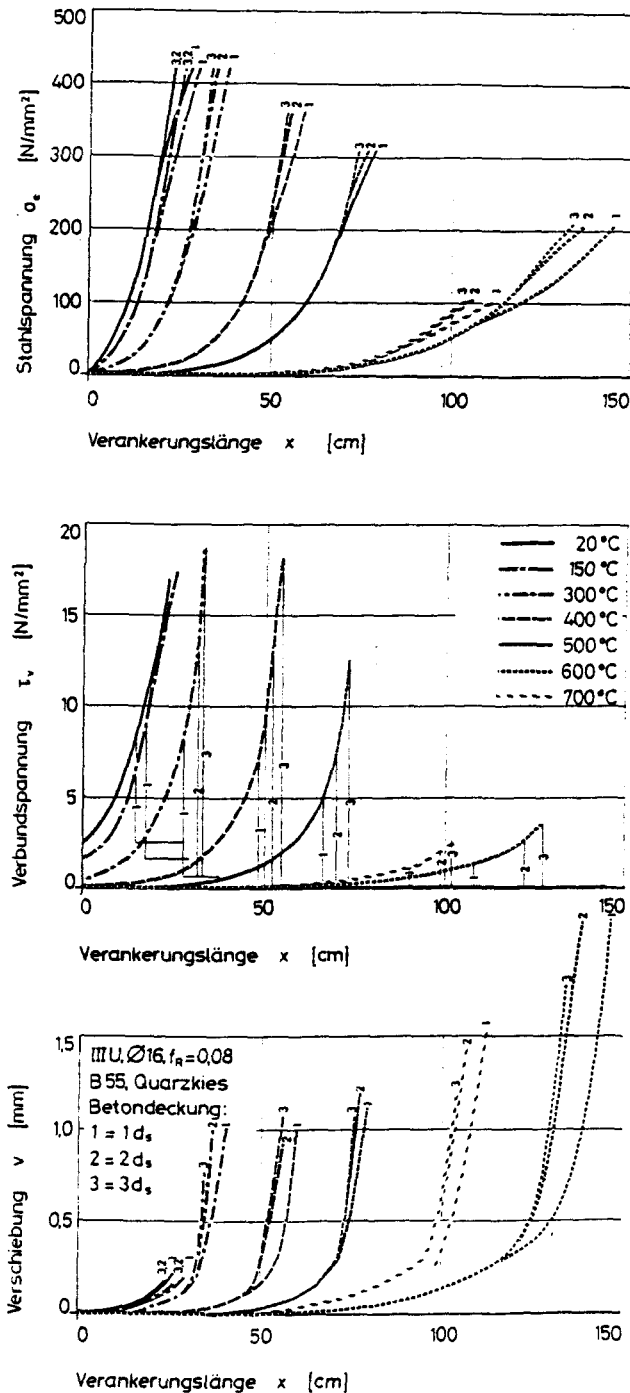


Bild 7.18: Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Stabachse für B 55 und Stahl III U unter Berücksichtigung der Betondeckung

in Bild 7.18 dargestellt. Setzt man voraus, daß durch den Sprengbruch die Betondeckung nur aufreißt und nicht abgesprengt wird, so ergeben sich bis 500 °C nur unwesentlich größere Verankerungslängen bis Stahlfließen eintritt als bei voll eingebettetem Stab. Bei $1d_s$ - und $2d_s$ -Betondeckung werden jedoch die Stabverschiebungen größer.

Bei 600 °C und 700 °C wirkt sich das Aufreißen des Betons deutlicher aus. Hier können die Stahlspannungen nur mit großen Dehnungszunahmen gesteigert werden. Die Verankerungslängen werden mit abnehmender Betondeckung größer, die Stabverschiebungen nehmen beträchtlich zu.

Die Ausziehversuche zeigten jedoch, daß bei den Betondeckungen mit $1d_s$ bei allen Temperaturen das Versagen durch Absprengen der gesamten Ecke erfolgte. Geht man davon aus, daß auch ein Bauteil mit $1d_s$ -Betondeckung durch Absprengen der Ecke versagt, so kann keine weitere Stahlspannung aufgebaut werden, das Bauteil versagt insgesamt.

Bild 7.17 macht deutlich, daß im Temperaturbereich bis 500 °C bei $1d_s$ -Betondeckung ein vorzeitiges Versagen eintritt. Die erreichbaren Stahlspannungen liegen hier deutlich unter der im Gebrauchslastfall ausnutzbaren Stahlspannung $\sigma_{e,zul} = 240 \text{ N/mm}^2$.

Dies gilt gleichermaßen für Quarzkiesbeton B 55 und Stahl III U (Bild 7.18).

7.3.7 Einfluß der Betondeckung auf die Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen sowie auf das Sprengbruchverhalten unter Berücksichtigung der Verankerungslänge l_o

Die Berechnung gleicht der von Kapitel 7.3.5. Auch hier wird die Stabendverschiebung erhöht und erreicht innerhalb der vorgegebenen Verankerungslänge l_o die Stahlspannung $\sigma_{e,zul} = 240 \text{ N/mm}^2$ bzw. die temperaturabhängige Zugfestigkeit $f_{ez} (\vartheta)$. Jedoch wird hier die Berechnung abgebrochen, wenn innerhalb der Verankerungslänge die Sprengbruchspannung überschritten wird.

Bild 7.19 enthält die Darstellungen der Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen für die drei Betondeckungen $c = 1, 2$ und $3d_s$. Sie gelten für Quarzkiesbeton B 55 und Stahl III U.

Für die Betondeckungen $c = 2d_s$ und $3d_s$ ergeben sich bis 500°C die gleichen Spannungsverteilungen. Hier wird innerhalb der vorgegebenen Verankerungslänge $\sigma_{e,zul} = 240 \text{ N/mm}^2$ erreicht. Bei 500°C ist dies jedoch nur über eine größere Stabverschiebung möglich.

Erst bei 700°C ($3d_s$) bzw. 600°C und 700°C ($2d_s$) tritt Sprengbruchversagen auf. Bei der Betondeckung $c = 2d_s$ erfolgt der Sprengbruch jedoch bei einer niedrigeren Verbundspannung als bei $3d_s$.

Bei der Betondeckung $c = 1d_s$ tritt das Versagen bei allen Temperaturen vorzeitig durch Absprengen der Betondeckung ein. Es werden innerhalb der Verankerungslänge nur Stahlspannungen erreicht, die deutlich unter den vorgegebenen Stahlspannungen $\sigma_{e,zul}$ bzw. $f_{ez} (\vartheta)$ liegen.

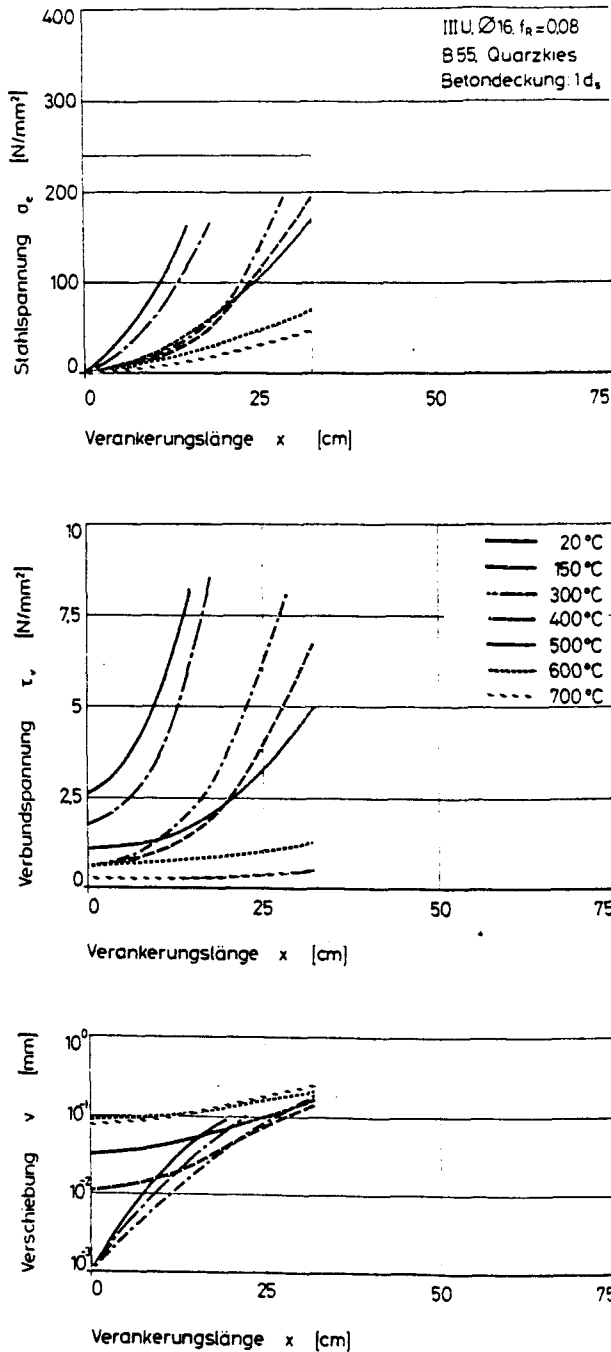


Bild 7.19a: Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Stabachse für B 55 und Stahl III U unter Berücksichtigung von ℓ_o nach DIN 1045 und der Betondeckung von $c = 1 d_s$

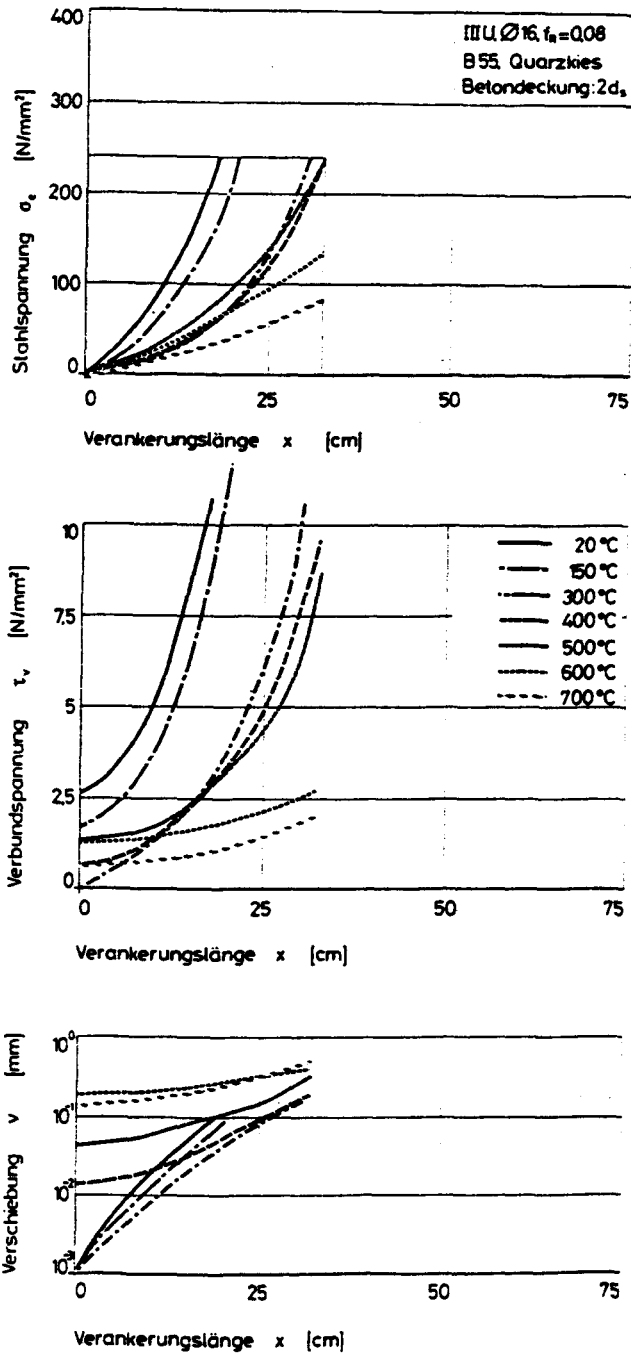


Bild 7.19b: Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Stabachse Für B 55 und Stahl III U unter Berücksichtigung von ℓ_o nach DIN 1045 und der Betondeckung von $c = 2 d_s$

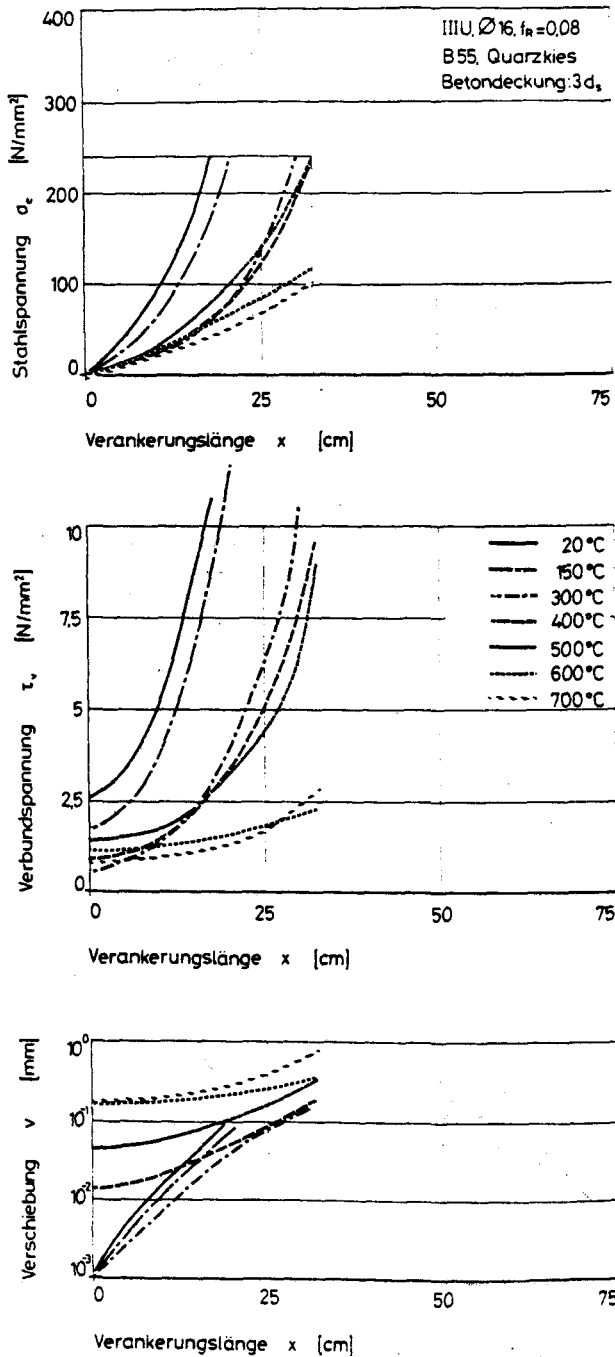


Bild 7.19c: Spannungsverteilungen von Stabverschiebungen entlang der Stabachse für B 55 und Stahl III U unter Berücksichtigung von l_o nach DIN 1045 und der Betondeckung von $c = 3 d_s$

7.4 Rechenansätze zur Ermittlung der Spannungsverteilung und der Stabverschiebung entlang der Stabachse in der gerissenen Zugzone

7.4.1 Vorbemerkung

Im Gegensatz zur Berechnung der Spannungsverteilung gemäß Kapitel 7.3, bei der der Betondehnungsanteil nur näherungsweise berücksichtigt wurde, soll hier, bei der Ermittlung der Verschiebungen zwischen Stahl und Beton, die Dehnung des Betons berücksichtigt werden.

Zusätzlich zu den in Kapitel 7.3 getroffenen Annahmen wird hier vereinbart:

- Der E-Modul von Beton gilt gleichermaßen für Druck- und Zugbeanspruchung bei allen Temperaturen.
- Bei Zugbeanspruchung wird für den Beton bis zum Erreichen der Zugfestigkeit ein lineares Stoffgesetz angenommen.
- Die Zugfestigkeit wird entsprechend Gleichung (7.7) angesetzt.
- Die auf Zug beanspruchte Fläche des Betons entlang der Stabachse wird als konstant angenommen.
- Als Flächenverhältnis μ gilt auch hier $\mu = F_e/F_b = 0,5 \%$.
- Die Stoffgesetze des Verbundes werden in gleicher Form zugrunde gelegt.
- Es wird eine reine Normalkraftbeanspruchung angenommen, die Änderung des Biegemomentes ist vernachlässigbar klein.
- Die Zwangbeanspruchung aus den unterschiedlichen thermischen Dehnungen von Beton und Stahl wird hier nicht berücksichtigt.

7.4.2 Ermittlung der Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen

Für die Berechnung der Spannungsverteilung wird davon ausgegangen, daß der Bereich der Lasteinleitung von Rissen begrenzt ist. Vom Riß ausgehend, wird die Zugkraft über den Stahl in den Beton eingeleitet.

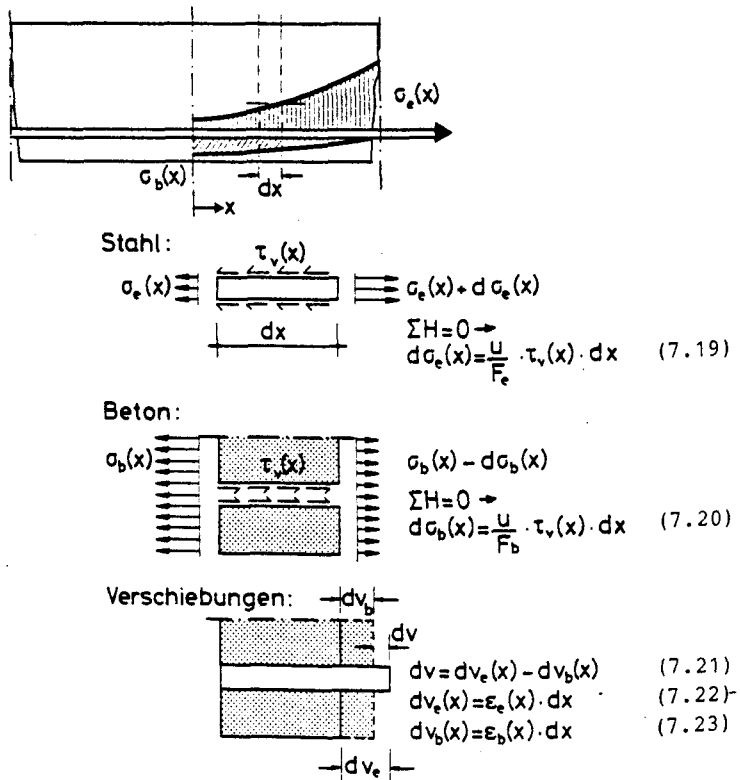


Bild 7.20: Spannungs- und Dehnungsverteilung am Element

Im Bild 7.20 sind die Spannungs- und Dehnungsverteilungen am Element dargestellt.

Mit den in Kapitel 7.2 angegebenen Materialgesetzen lassen sich die Verformungen bestimmen:

$$\epsilon_b(x) = \sigma_b(x)/E_b \quad (7.24)$$

$$\epsilon_e(x) = \sigma_e(x)/E_e \text{ für } \sigma_e(x) < \beta_{ee} \quad (7.25)$$

und

$$\epsilon_e(x) = \epsilon_{ee} + (\epsilon_{20} - \epsilon_{ee}) \left(\frac{\sigma_e(x) - \beta_{ee}}{\beta_{ez} - \beta_{ee}} \right)^2 \quad (7.26)$$

$$\text{für } \beta_{ee} < \sigma_e < \beta_{ez}$$

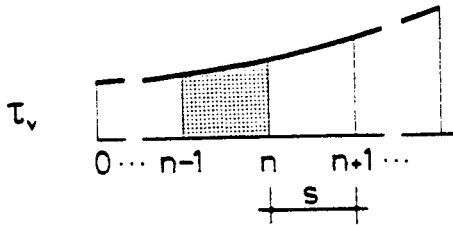
Hierin geben ϵ_{ee} und β_{ee} die Grenze des elastischen Bereichs sowie ϵ_{20} und β_{ez} die Grenze des plastischen Bereichs des temperaturabhängigen Materialgesetzes des Stahles nach [7.4] an.

Analog zu dem in Abschnitt 7.3.3 angegebenen Verfahren läßt sich nun, in Anlehnung an [2.17] die Spannungsverteilung durch schrittweise Integration entlang der Stabachse bestimmen.

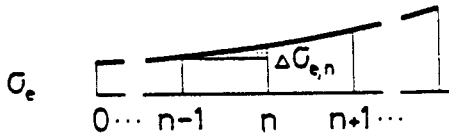
Die Berechnung beginnt an Stelle $x = 0$, an der die Betonspannung $\sigma_b(x)$ gerade die Zugfestigkeit erreicht. An dieser Stelle sind die Verschiebungen zwischen Stahl und Beton gerade Null. Die Dehnungen von Beton und Stahl sind hier vereinbarungsgemäß gleich groß. Der Rechnungsablauf ist in Bild 7.21 dargestellt.

Als Anfangswert wird für die Berechnung $v(0) = 0,001$ mm angenommen. Außerdem wird, wie schon in Kapitel 7.3.3, zur Integration der Verbundspannung über die Länge $s \tau_{v,n}$ durch eine Iteration bestimmt.

Die Rechnung wird beendet, wenn $\sigma_{b,n} = 0$ ist. Die ermittelte Spannungsverteilung gibt die maximale Ausnutzbarkeit des Betons an. Jede weitere Lasterhöhung führt zum Aufreißen des



$$T_n = \frac{(\tau_{v,n-1} + \tau_{v,n})}{2} \cdot u \cdot s \quad (7.27)$$

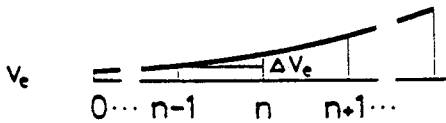


$$\Delta\sigma_{e,n} = T_n / F_e \quad (7.28)$$

$$\sigma_{e,n} = \sigma_{e,n-1} + \Delta\sigma_{e,n} \quad (7.29)$$

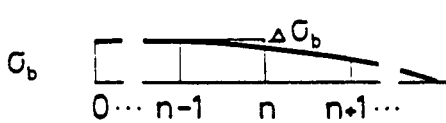


$$\epsilon_{e,n} = f(\sigma_{e,n}) \quad (7.30)$$



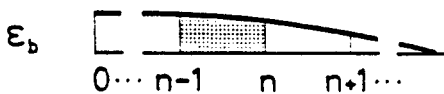
$$\Delta v_{e,n} = \frac{(\epsilon_{e,n-1} + \epsilon_{e,n})}{2} \cdot s \quad (7.31)$$

$$v_{e,n} = v_{e,n-1} + \Delta v_{e,n} \quad (7.32)$$

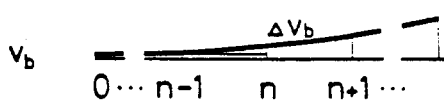


$$\Delta\sigma_{b,n} = \mu \cdot T_n / F_e \quad (7.33)$$

$$\sigma_{b,n} = \sigma_{b,n-1} - \Delta\sigma_{b,n} \quad (7.34)$$

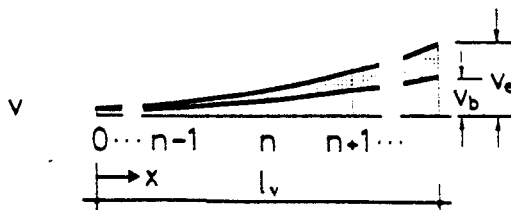


$$\epsilon_{b,n} = \sigma_{b,n} / E_b \quad (7.35)$$



$$\Delta v_{b,n} = \frac{(\epsilon_{b,n-1} + \epsilon_{b,n})}{2} \cdot s \quad (7.36)$$

$$v_{b,n} = v_{b,n-1} + \Delta v_{b,n} \quad (7.37)$$



$$v_n = v_{e,n} - v_{b,n} \quad (7.38)$$

$$\tau_{v,n} = f(v_n) \quad (7.39)$$

Bild 7.21: Lösungsweg der schrittweisen Integration unter Berücksichtigung der Retorsion

Betons an der Stelle $x = 0$. Das Versagen tritt in diesem Fall durch Überschreiten der Betonzugfestigkeit ein.

Die Rechnung kann jedoch auch durch Stahlzugversagen beendet werden, wenn

$$\sigma_{e,n} > B_{ez}(\vartheta) \text{ und } \sigma_{b,n} > 0$$

ist. In dem Fall wird $\sigma_b(0)$ um $\Delta\sigma_b = \sigma_b(0)/100$ so lange reduziert, bis $\sigma_{e,n} = B_{ez}(\vartheta)$ und $\sigma_{b,n} \leq 0$ ist.

7.4.3 Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen in der Zugzone eines gerissenen Bauteiles

Die Ergebnisse der Berechnung sind in Bild 7.22 für Quarzkiesbeton B 25 und Stahl III U und in Bild 7.23 für B 55 und Stahl III U dargestellt.

Der Vergleich macht deutlich, daß beim B 55 (bei sonst gleichen Voraussetzungen) das Versagen bei allen Temperaturen durch Stahlfließen auftritt, während beim B 25, bis auf 20 °C, der Beton immer auf Zug versagt. Beim B 55 treten hier nahezu die gleichen Betonzugspannungen am Ende des Eintragsbereichs auf wie beim B 25.

In die beiden Bilder sind zusätzlich die Grenzlinien der Verbundbruchspannungen bei Berücksichtigung der Betondeckung eingetragen.

Bei beiden Betonen tritt bei einer Betondeckung $c = 1d_s$ das Versagen vorzeitig durch Sprengrißbildung in Längsrichtung auf.

Beim B 55 würden auch bei Temperaturen über 300 °C und $2d_s$ Betondeckung noch Sprengbrüche auftreten; sonst wird hier jedoch immer das Versagen durch Überschreiten der Zugfestigkeit des Stahles eintreten.

Beim B 25 tritt bei allen größeren Betondeckungen das Versagen durch Überschreiten der Betonzugfestigkeit auf.

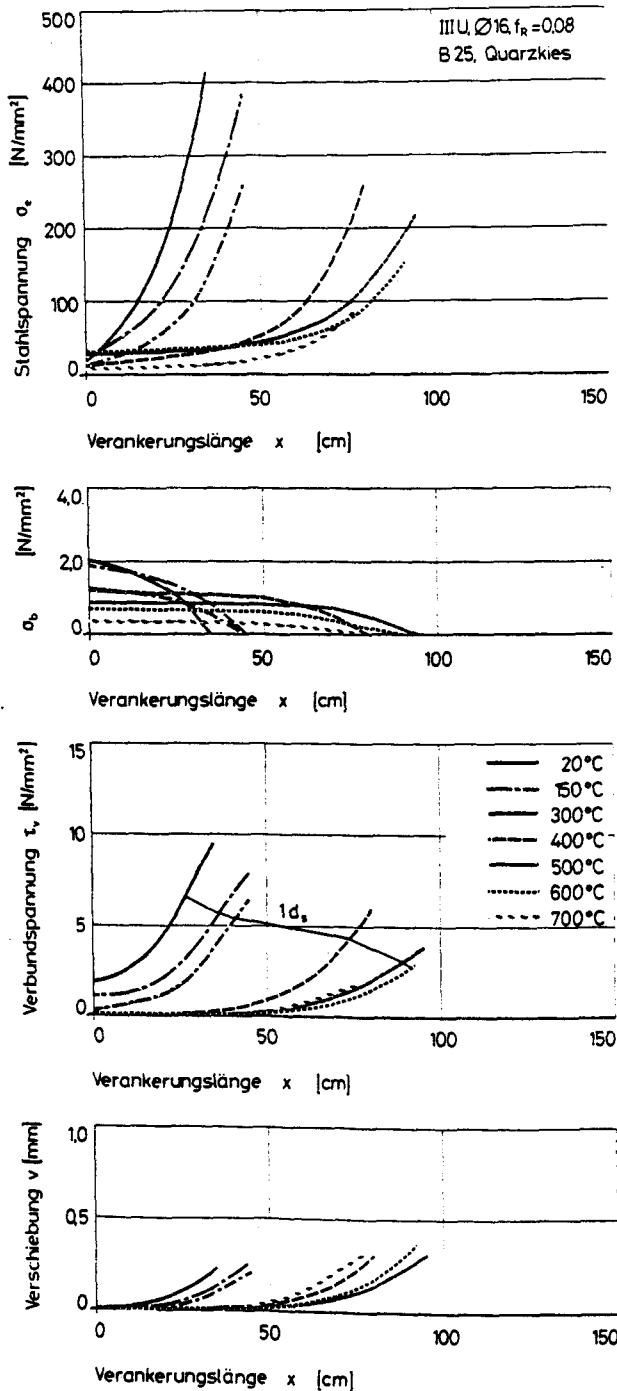


Bild 7.22: Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen in der gerissenen Zugzone eines Bauteils für B 25 und Stahl III U

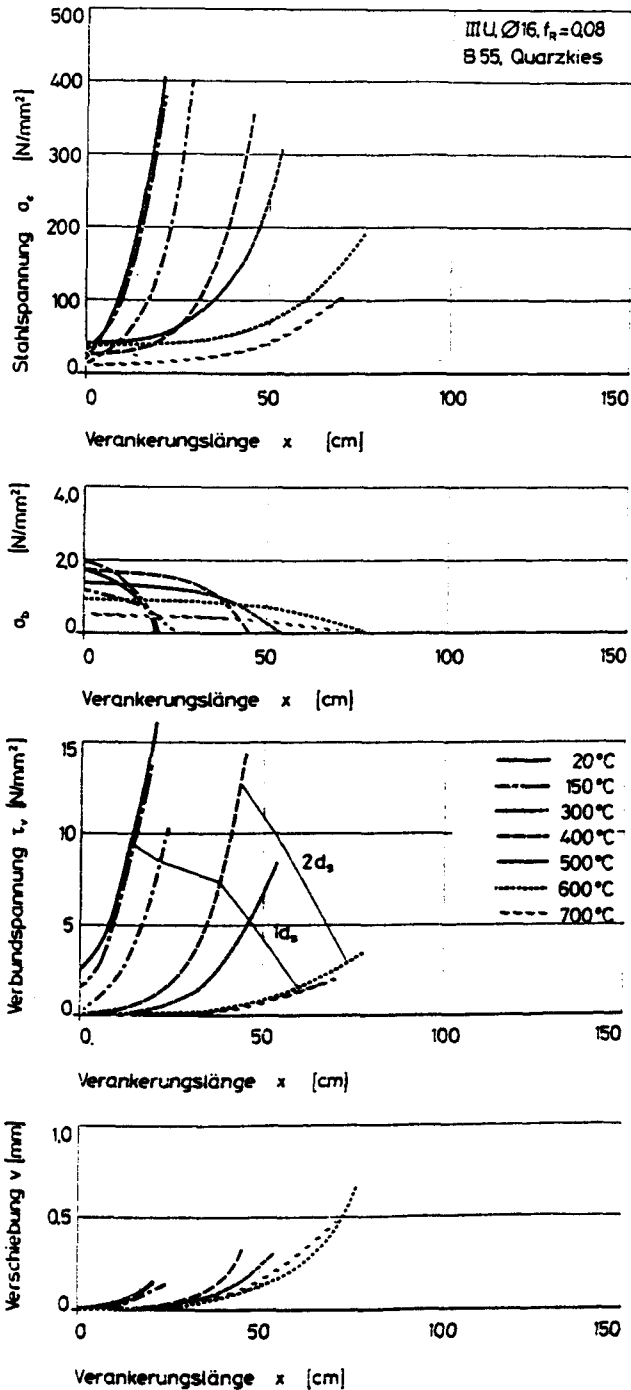


Bild 7.23: Spannungsverteilung und Stabverschiebungen in der gerissenen Zugzone eines Bauteils für B 55 und Stahl III U

8. STAHL- UND VERBUNDSPANNUNGEN SOWIE VERSCHIEBUNGEN BEI KONSTANTEN ÄUSSEREN LASTEN INFOLGE INSTATIONÄRER TEMPERATUREN

8.1 Vorbemerkungen

Nachdem in Kapitel 7 ansatzweise gezeigt werden konnte, daß sich die temperaturabhängigen Verbundgesetze mit nur vier Parametern analytisch beschreiben lassen, soll hier dargestellt werden, wie die Versuchsergebnisse des instationären Verbundkriechens in ähnlicher Art mit wenigen Parametern näherungsweise beschrieben werden können.

Schon bei Raumtemperatur ist die analytische Erfassung des Verbundkriechens nur durch Näherungen möglich. Die Näherungsverfahren sind in Kapitel 2 beschrieben. Bei instationären Temperaturen stellt sich die Bearbeitung des Problems noch komplexer dar. Die Materialgesetze verändern sich unvernachlässigbar mit der Temperatur. Selbst bei konstanter äußerer Beanspruchung treten durch die unterschiedlichen thermischen Dehnungen zwischen Stahl und Beton sowie die Temperaturgradienten über den Querschnitt und in Längsrichtung fortwährend aus innerem Zwang Spannungsveränderungen auf.

Eine erste rechnerische Erfassung der sich während des Aufheizens verändernden Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen unter Berücksichtigung des instationären Verbundkriechens kann nur unter groben Vereinfachungen vorgenommen werden. Hierzu werden folgende Annahmen getroffen:

- Die instationären Temperaturen werden durch quasi-stationäre, sich schrittweise ändernde Temperaturen erfaßt, $\Delta\vartheta/\Delta t = \text{konst.}$,
- es werden nur ansteigende Temperaturen betrachtet,
- die Temperatur wird vorerst über den Querschnitt und in Längsrichtung als konstant vorausgesetzt,
- der Betrachtungszeitraum beginnt mit dem Aufheizen,
- äußere Lasten werden vorerst nicht aufgebracht,

- es wird nur ein einachsiger Spannungszustand berücksichtigt,
- die Materialeigenschaften von Beton und Stahl werden in Längsrichtung und im Querschnitt als homogen und konstant angenommen,
- das Bauteil wird als beliebig lang vorausgesetzt,
- die im Versuch ermittelten Kriechzahlen φ_{vi} sowie die daraus ermittelten τ_v -v-Beziehungen gelten in gleicher Art an jeder Stelle des einbetonierten Bewehrungsstahles,
- die Verbundspannungen greifen gleichmäßig verteilt über den Stabumfang an. Sie sind entlang der Stabachse stetig,
- das Relaxationsverhalten von Beton und Stahl wird nicht erfaßt,
- das Kriechen von Beton und Stahl soll vereinfacht in den Materialgesetzen berücksichtigt werden.

Als Näherungsansatz soll hier das von Franke [2.18] und Svensvik [2.20] beschriebene "Isochronen-Verfahren" modifiziert auf hohe Temperaturen angewandt werden. Es wird in Kapitel 8.2.2 beschrieben.

Zur Ermittlung der Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen muß von einem veränderten Modell ausgegangen werden. Der sich aus der Differenzdehnung zwischen Beton und Stahl ergebende Zwang führt zu Spannungen, die an den Endbereichen eines Bauteils zu Null abgebaut werden müssen. Den qualitativen Verlauf der Spannungen und Verschiebungen gibt schematisch Bild 8.1 wieder.

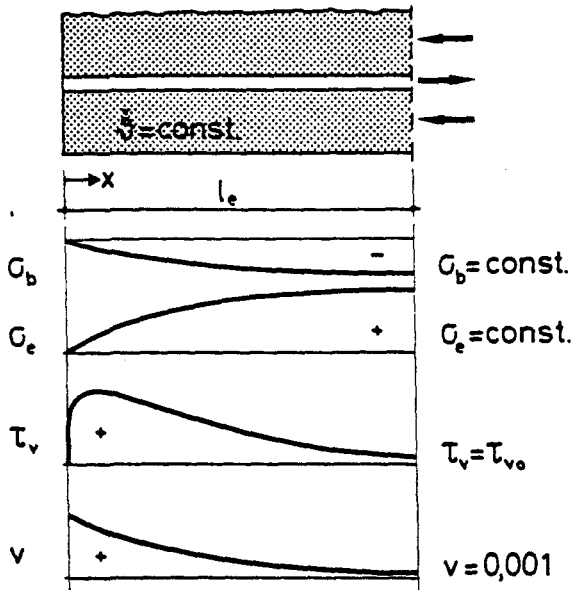


Bild 8.1: Schematischer Verlauf der Spannungen und Verschiebungen infolge inneren Zwangs im Endbereich eines Bauteils

8.2 Materialgesetze für instationäre Temperaturen

8.2.1 Instationäre Kriechgesetze des Verbundes

Aus der Literatur liegen keine Erfahrungen zur Definition instationärer Kriechgesetze vor. Es wird versucht, die Kriechfunktion $\phi_{v1}(\vartheta)$ auf der Basis der Versuche zu ermitteln.

Als erstes muß überprüft werden, ob die temperaturabhängige Kriechfunktion unabhängig vom Belastungsgrad bzw. von der Spontanverschiebung v ist. Erst dann läßt sich die temperaturabhängige Verschiebung unter konstanter Last und instationären Temperaturen in der Form des linearen Kriechens

$$v_k(\vartheta) = v_0 [1 + \phi_{v1}(\vartheta)] \quad (8.1)$$

angeben.

Die Auswertung der Versuchsergebnisse in Kapitel 6.8 ist unter Berücksichtigung von Gl. (8.1) vorgenommen worden.

Die Gesamtverschiebung unter konstanter Last und instationärer Temperatur wurde um die Stabendverschiebung unbelastet aufgeheizter Versuchskörper reduziert, um die lastabhängige Verschiebung bei instationärer Temperaturbeanspruchung zu erhalten.

Die Kriechzahl φ_{vi} wurde dann ermittelt zu:

$$\varphi_{vi} = \frac{v_k(\vartheta) - v_0}{v_0} \quad (8.2)$$

Den Darstellungen war zu entnehmen, daß unter diesen Voraussetzungen ermittelte Kriechzahlen nur von der Temperatur abhängig sind. Für die unterschiedlichen Belastungsgrade ergeben sich bis zum Erreichen des tertiären, zum Kriechbruch der Versuchskörper führenden Bereichs, nahezu die gleichen Kriechzahlen. Damit ist die Voraussetzung linearen Kriechens bewiesen.

Stellt man die Kriechzahlen in doppeltlogarithmischem Maßstab dar, so ergibt sich annähernd eine lineare Abhängigkeit zwischen Kriechzahl und Temperatur. Bild 8.2 zeigt diesen Zusammenhang für Betonstähle III K und III U und Quarzkiesbetone B 25 und B 55. Es ergeben sich jeweils für eine Betonstahlart und die beiden unterschiedlichen Betonfestigkeiten zwei parallele Geraden, wobei die des Betons B 55 über der des Betons B 25 liegt.

Geraden im doppeltlogarithmischen Maßstab können durch Funktionen der Form beschrieben werden:

$$\log \varphi_{vi}(\vartheta) = q + p \cdot \log \vartheta \quad (8.3)$$

Durch Umformung ergeben sich daraus im doppeltlinearen Maßstab Potenzfunktionen der Form

$$\varphi_{vi}(\vartheta) = q \cdot \vartheta^p \quad (8.4)$$

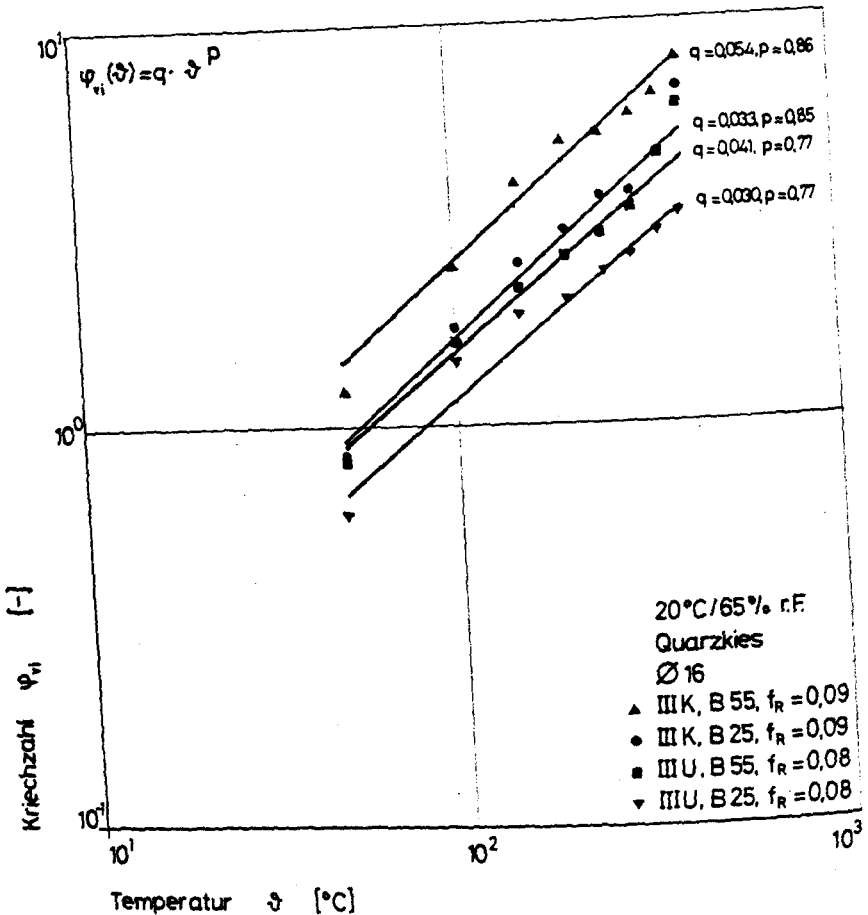


Bild 8.2: Instationäre Kriechgesetze des Verbundes

Die Koeffizienten q und p für die vier Beton- und Stahlvarianten sind in Bild 8.2 mit aufgetragen.

Der Vergleich der Rechenfunktion mit den im Versuch ermittelten Kriechzahlen ist in Bild 8.3 für Stahl III U und Quarzkiesbeton B 25 dargestellt. Die Übereinstimmung der Kriechgesetze mit den Kriechzahlen kann als ausreichend betrachtet werden. Dies gilt auch für die anderen Versuchsergebnisse.

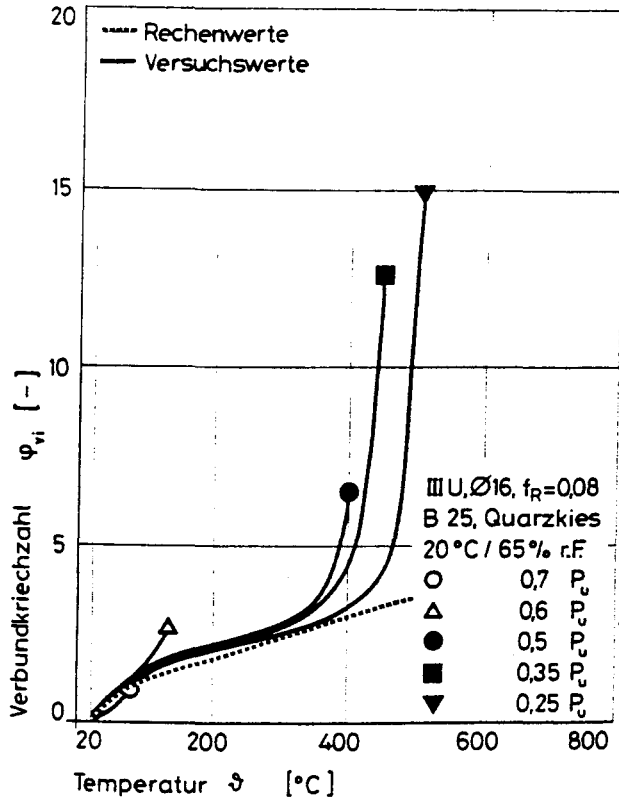


Bild 8.3: Vergleich der instationären Kriechzahlen von Versuchswerten und den Rechenwerten des Kriechgesetzes

Die durch Versuchswerte abgesicherte Kriechfunktion $\varphi_{vi}(\vartheta)$ ist nur bis zu einem bestimmten Belastungsgrad gültig. Der Gültigkeitsbereich wird außerdem durch die Temperatur definiert, bei der der Verlauf der Kriechzahl in den tertiären Bereich abzweigt, d. h. daß $d\varphi_{vi}/d\vartheta$ stetig zunimmt. Diese kritische Kriechtemperatur ϑ_{ki} ist in Bild 8.4 in Abhängigkeit vom Belastungsgrad dargestellt. Miteingetragen ist die bereichsweise linearisierte Rechenfunktion. Sie gilt für alle Betonstähle und Quarzkiesbeton insgesamt, wobei jedoch der Bereich über 450 °C durch Versuchsergebnisse nicht abgedeckt ist.

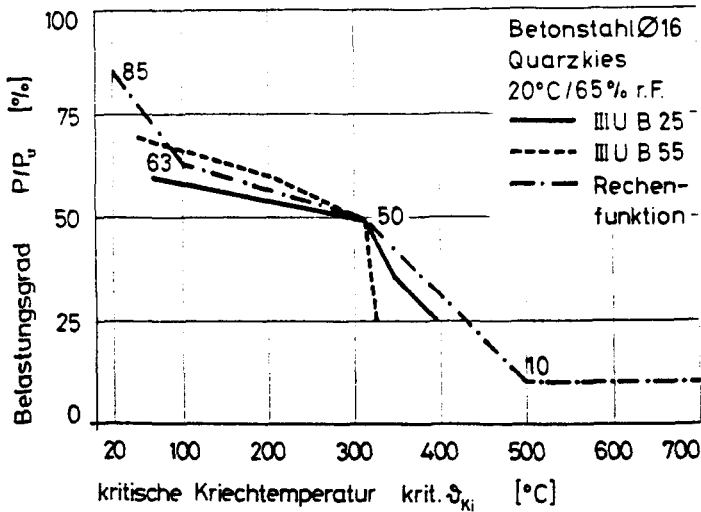


Bild 8.4: Verbundgrenzspannung in Abhängigkeit vom Belastungsgrad und der kritischen Temperatur Θ_{ki}

8.2.2 Isothermische Stoffgesetze des instationären Verbundkriechens

Hier sollen als Näherungsansatz zur Berücksichtigung des instationären Verbundkriechens bei der Ermittlung der Spannungsverteilung isothermische Stoffgesetze angewandt werden. Es wird von folgender Überlegung ausgegangen:

- Wird eine Belastung bei Raumtemperatur aufgebracht und dann konstant gehalten, so ergeben sich mit steigender Temperatur Verschiebungen. Sie lassen sich mit dem Kriechgesetz ermitteln

$$\text{ges } v_k(\vartheta) = v_0 (1 + \varphi_{v1}(\vartheta)). \quad (8.5)$$

- Es wird nun vereinfachend angenommen, daß die Erfassung des gleichen Last- und Verschiebungszustandes auch möglich ist, indem die Belastung bei hoher Temperatur aufgebracht würde, unter Berücksichtigung eines um $\varphi_{v1}(\vartheta)$ verzerrten Stoffgesetzes des Verbundes.

Dieser Zusammenhang ist schematisch in Bild 8.5 dargestellt.

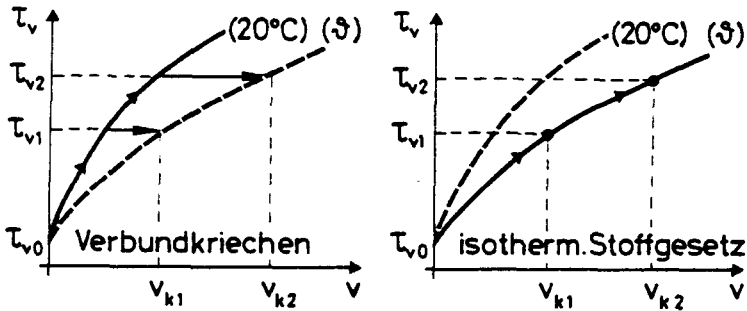


Bild 8.5: Kriechverschiebungen im Versuch und deren Verwendung im Rechenansatz

Zur Entwicklung der isothermischen Stoffgesetze wird von dem Stoffgesetz bei Raumtemperatur ausgegangen.

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{v0}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{\max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{\max}}\right)^m} \right) \quad (8.6)$$

mit $\tau_m = \tau_{\max} - \tau_{v0}$

Die Verschiebungsanteile von (8.6) müssen nun bei gleichbleibendem τ_v um φ_{vi} (3) verzerrt werden, um für die Temperaturstufen die "Schar der Isothermischen Stoffgesetze" zu ermitteln. Durch das Absinken des Haftverbundes mit steigender Temperatur ergeben sich bis rd. 400 °C bei der Approximation

geringfügig höhere Werte als bei 20 °C, (+ 0,02). Es kann hier für alle Temperaturen ein konstantes $m(20^\circ\text{C})$ gesetzt werden, so daß die isothermischen Stoffgesetze definiert sind durch:

- $\tau_{\max}(20^{\circ}\text{C})$
- $m(20^{\circ}\text{C})$
- $\tau_{\text{VO}}(\vartheta)$
- $v_{\max}(20^{\circ}\text{C}) \cdot \varphi_{\text{vi}}(\vartheta)$

In Bild 8.6 ist die Schar der isothermischen Stoffgesetze für einige Temperaturen sowie Stahl III und B 55 dargestellt. Diese Gesetze gelten vereinbarungsgemäß nur bis zur lastabhängigen kritischen Kriechtemperatur ϑ_{ki} .

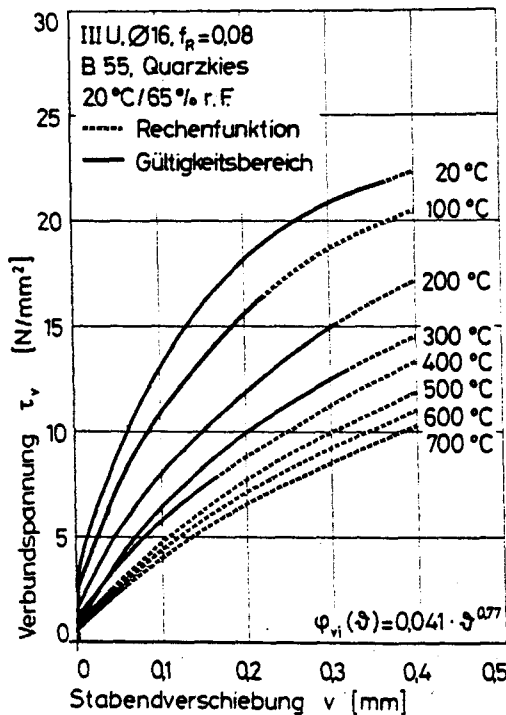


Bild 8.6: Isothermische Stoffgesetze des Verbundes

8.2.3 Materialgesetze des Stahles unter Berücksichtigung des Kriecheinflusses

Die Materialgesetze des Stahles wurden im Teilprojekt B4 des Sonderforschungsbereichs 148 "Brandverhalten von Bauteilen" in Warmkriechversuchen ermittelt. In [8.1] wird über die Durchführung der Versuche berichtet. Aus den Versuchsergebnissen lassen sich Spannungs-Dehnungs-Beziehungen ermitteln, die den Kriecheinfluß unter instationärer Aufheizung berücksichtigen.

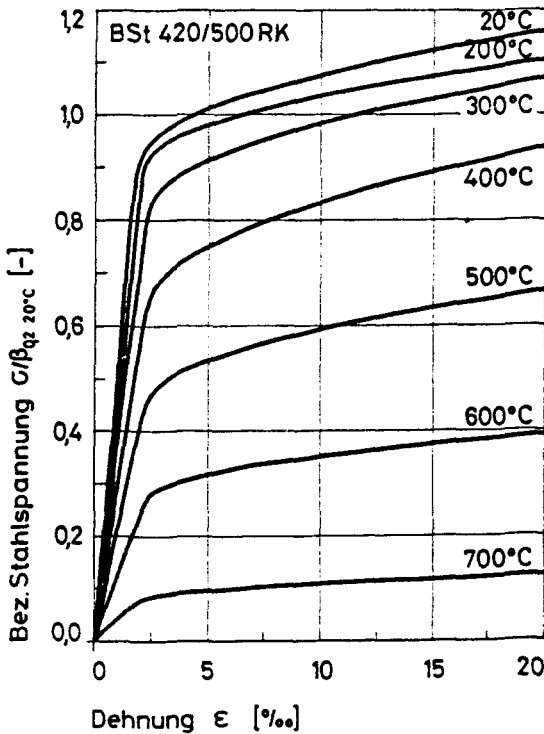


Bild 8.7: Materialgesetze des Stahles unter Berücksichtigung des Kriecheinflusses

Die in Bild 8.7 dargestellten Materialgesetze und deren analytische Formulierung wurde [8.2] entnommen. Die gesamte last- und temperaturabhängige Dehnung läßt sich durch

$$\varepsilon_{e,ges}(\vartheta, \sigma) = \varepsilon_{e,el}(\vartheta, \sigma) + \cosh^5 \left(\frac{\vartheta - \vartheta_0}{\vartheta_u} \right) - 1 \cdot H(\vartheta) \quad (8.7)$$

beschreiben. Hierin bedeuten:

$\vartheta_{0,u}$ = temperaturabhängige Bereichsgrenzen der plast. Dehnung

$H(\vartheta)$ = temperaturabhängiges Polynom vierten Grades

$\varepsilon_{e,el}$ = elastischer Dehnungsanteil

$\varepsilon_{e,ges}$ = Gesamtdehnung einschließlich des plastischen Anteils.

Die dargestellten Materialgesetze wurden an einem Betonstahl III K ermittelt. Da jedoch für Stahl III U noch keine geeigneten Materialgesetze vorlagen, wurde vorerst auch für Betonstahl III U von den vorliegenden Gesetzen ausgegangen.

8.2.4 Materialgesetze des Betons unter Berücksichtigung des Kriecheinflusses

Die Materialgesetze des Betons wurden im Teilprojekt B3 des SFB 148, "Brandverhalten von Bauteilen", ermittelt. Die Entwicklung der in Bild 8.8 dargestellten Spannungs-Dehnungs-Linien erfolgte wie beim Stahl aus Warmkriechversuchen. Die Definition der Materialgesetze ist [4.3] entnommen. Sie lassen sich mit

$$\frac{\sigma(\vartheta)}{\sigma_{\max}(\vartheta)} = \frac{\varepsilon(\vartheta)}{\varepsilon_{\max}(\vartheta)} \cdot \frac{3}{2 + \left(\frac{\varepsilon(\vartheta)}{\varepsilon_{\max}(\vartheta)} \right)^3} \quad (8.8)$$

beschreiben, wobei $\sigma_{\max}(\vartheta)$ und $\varepsilon_{\max}(\vartheta)$ durch temperaturabhängige Polynome 3. Grades beschrieben werden. Es bedeuten:

$\sigma_{\max}(\vartheta)$ = temperaturabhängige Bruchspannung,

$\varepsilon_{\max}(\vartheta)$ = die zugehörige Bruchdehnung.

Die dargestellten Materialgesetze gelten allgemein für druckbeanspruchten Quarzkiesbeton. Für die Zugbeanspruchung liegen keine gleichartigen Ergebnisse vor. Hier sollen näherungsweise die in Kapitel 7.2.3 definierten Gesetze gelten.

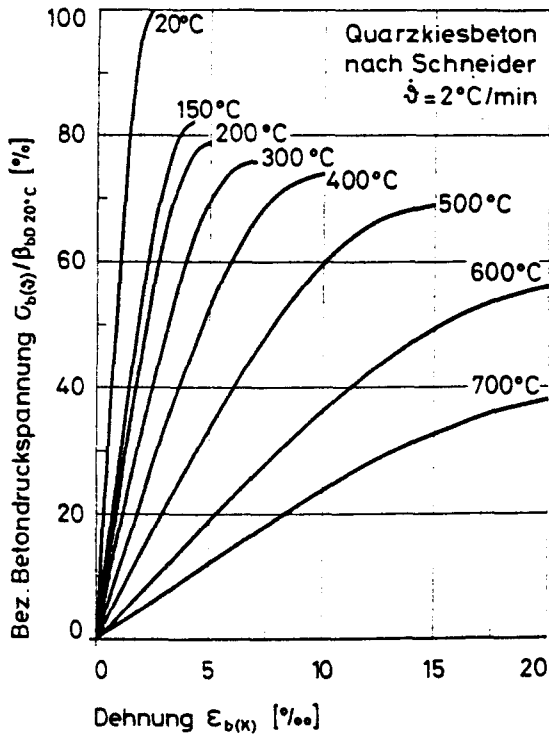


Bild 8.8: Materialgesetze des Betons unter Berücksichtigung des Kriecheinflusses

8.3 Rechenansätze zur näherungsweisen Ermittlung der Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Stabachse unter instationären Temperaturen

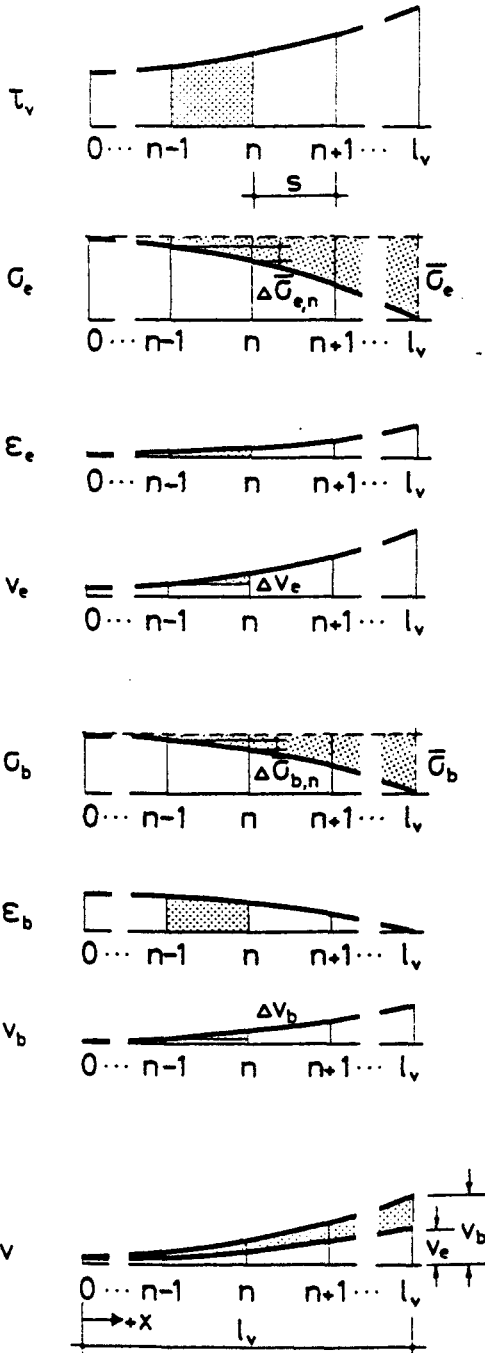
Nachdem die Materialgesetze unter Berücksichtigung des Kriecheinflusses definiert sind, sollen hier näherungsweise die Eintragungslänge der Spannungen und die Verschiebungen bestimmt werden, die sich beim Aufheizen eines Bauteils infolge Zwang ergeben.

Aufgrund der Definition der isothermischen Stoffgesetze des Verbundes kann hier im Prinzip die in Kapitel 7.4.2 beschriebene Näherungslösung der schrittweisen Integration angewandt werden. Durch den unterschiedlichen Spannungsabbau ergeben sich jedoch einige Unterschiede. Der Lösungsweg ist in Bild 8.9 dargestellt.

Der Rechenlauf einer Temperaturstufe wird beendet, wenn die ermittelten Stahldehnungen größer sind als die Differenzdehnungen $\Delta \epsilon(\vartheta)$. Die Eintragungslänge l_e ergibt sich dann aus der Schrittzahl n und der Schrittweite s : $l_e = n \cdot s$. Anschließend wird die Temperatur für die nächsten Rechenläufe schrittweise erhöht.

Zur Bestimmung der Eintragungslänge muß noch vereinbart werden:

- Verlängert sich die Eintragungslänge $l_e(\vartheta_m)$ im m -ten Temperaturschritt, so verschiebt sich der Beginn des Eintragungsbereichs ($\sigma_e = \text{konst}$) in $(-x)$ -Richtung.
- Verringert sich die rechnerische Eintragungslänge $l_e(\vartheta_{m+1})$ im folgenden Temperaturschritt, so bleiben die Stelle $x = 0$ und die Eintragungslänge des vorhergehenden Schrittes erhalten. Die Strecke $l_e(\vartheta_m) - l_e(\vartheta_{m+1})$ ist dann jedoch spannungsfrei und kann sich entsprechend der thermischen Dehnungen von Beton und Stahl frei dehnen. Dies ist begründet durch die an der Stelle $x = 0$ wirkende Spannung infolge inneren Zwangs.



$$T_n = \frac{(\tau_{v,n-1} + \tau_{v,n})}{2} \cdot u \cdot s \quad (8.9)$$

$$\Delta \bar{\sigma}_{e,n} = T_n / F_e \quad (8.10)$$

$$\bar{\sigma}_{e,n} = \bar{\sigma}_{e,n-1} + \Delta \bar{\sigma}_{e,n} \quad (8.11)$$

$$\sigma_{e,n} = \sigma_{e,l_v} - \bar{\sigma}_{e,n} \quad (8.12)$$

$$\varepsilon_{e,n} = f(\bar{\sigma}_{e,n}) \quad (8.13)$$

$$\Delta v_{e,n} = \frac{(\varepsilon_{e,n-1} + \varepsilon_{e,n})}{2} \cdot s \quad (8.14)$$

$$v_{e,n} = v_{e,n-1} + \Delta v_{e,n} \quad (8.15)$$

$$\Delta \bar{\sigma}_{b,n} = \mu \cdot T_n / F_e \quad (8.16)$$

$$\bar{\sigma}_{b,n} = \bar{\sigma}_{b,n-1} + \Delta \bar{\sigma}_{b,n} \quad (8.17)$$

$$\sigma_{b,n} = \sigma_{b,l_v} - \bar{\sigma}_{b,n} \quad (8.18)$$

$$\varepsilon_{b,n} = f(\bar{\sigma}_{b,n}) \quad (8.19)$$

$$\Delta v_{b,n} = \frac{(\varepsilon_{b,n-1} + \varepsilon_{b,n})}{2} \cdot s \quad (8.20)$$

$$v_{b,n} = v_{b,n-1} + \Delta v_{b,n} \quad (8.21)$$

$$v_n = v_{b,n} - v_{e,n} \quad (8.22)$$

$$\text{ges } v_n = v_n \cdot \varphi_{x1}(\vartheta) \quad (8.23)$$

$$\tau_{v,n} = f(\text{ges } v_n) \quad (8.24)$$

$$v_n = \text{ges } v_n - v_n \quad (8.25)$$

Bild 8.9: Schrittweise Integration zur Ermittlung der Spannungsverteilungen bei innerem Zwang

- Diese Vereinbarung gilt betragsmäßig sowohl für den positiven als auch für den negativen Bereich der Differenzdehnungen.
- Wird die Differenzdehnung ab rd. 400 °C wieder positiv ($\Delta\varepsilon(\vartheta) > 0$), so beginnt die Eintragungslänge $\ell_e(\vartheta)$ wieder an der Stelle $x = 0$, der vormals größten Eintragungslänge $\ell_e(\vartheta_m)$ des positiven Bereichs von $\Delta\varepsilon(\vartheta)$. Hier wurde davon ausgegangen, daß die in den Betonkonsolen aufgetretenen Verformungen plastischer Natur sind und sich auch bei steigender Temperatur nicht zurückbilden.
- Es können erst wieder Spannungen abgebaut werden, wenn sich die Stahlrippen an den Beton anlegen, d. h. wenn die Verschiebungen größer werden als beim Temperaturschritt (ϑ_m).
- Wird an einer Stelle x der Eintragungslänge die von krit. ϑ_{Ki} abhängige Verbundgrenzspannung überschritten, dann tritt Verbundversagen ein. Es wird vereinbart, daß τ_v auf τ_{v0} absinkt und mit zunehmender Verschiebung konstant bleibt.

8.4 Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen infolge Zwang entlang der Eintragungslänge

In Bild 8.10 sind die rechnerischen Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen für Stahl III U und Quarzkiesbeton B 25 dargestellt. Wiedergegeben sind die Stahlspannungen, Verbundspannungen und Stabverschiebungen, die bei $\Delta\varepsilon(\vartheta) > 0$ positiv und bei $\Delta\varepsilon(\vartheta) < 0$ negativ sind. Positive Verschiebung heißt, daß der Betonstahl hineinschlupft.

Aufgrund der geringen vorgegebenen Zwangsdehnung sind bis 400 °C nur Eintragungslängen von rd. 12 cm erforderlich. Hiermit verbunden sind geringe Stabendverschiebungen. Erst im Bereich über 400 °C, in dem die Differenzdehnungen erheblich ansteigen, ergeben sich mit größer werdenden Stahlspannungen auch höhere Schlupfwerte. Außerdem erhöhen sich über 400 °C die Schlupfwerte durch das Überschreiten der Verbundgrenzspannung. Dies trägt ebenso zur Verlängerung der Eintragungslänge bei.

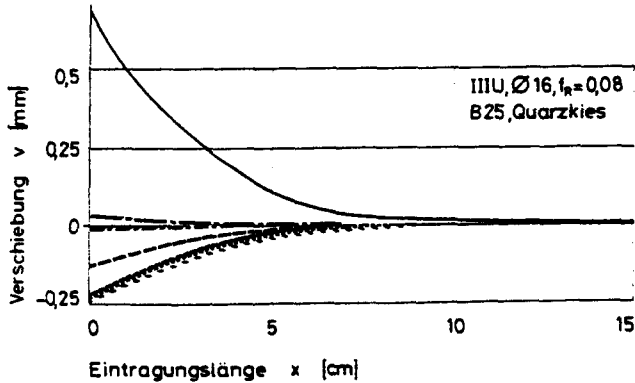
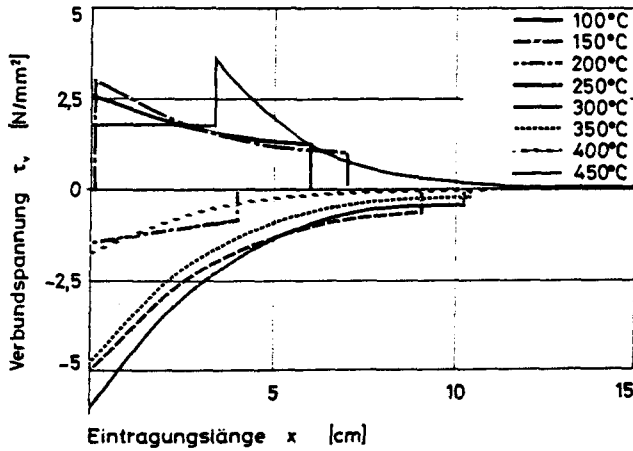
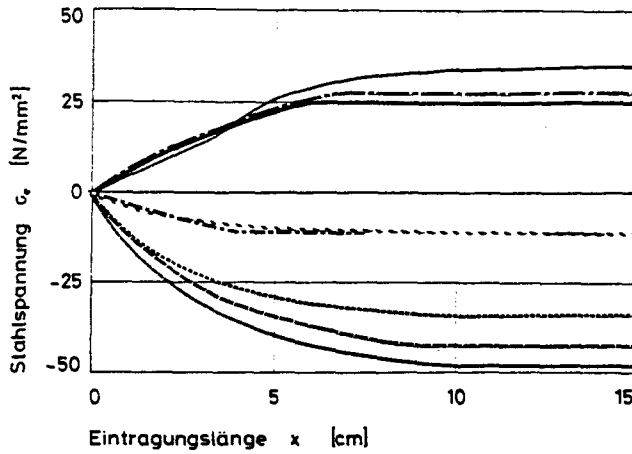


Bild 8.10: Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen infolge Zwangs für B 25 und Stahl III U

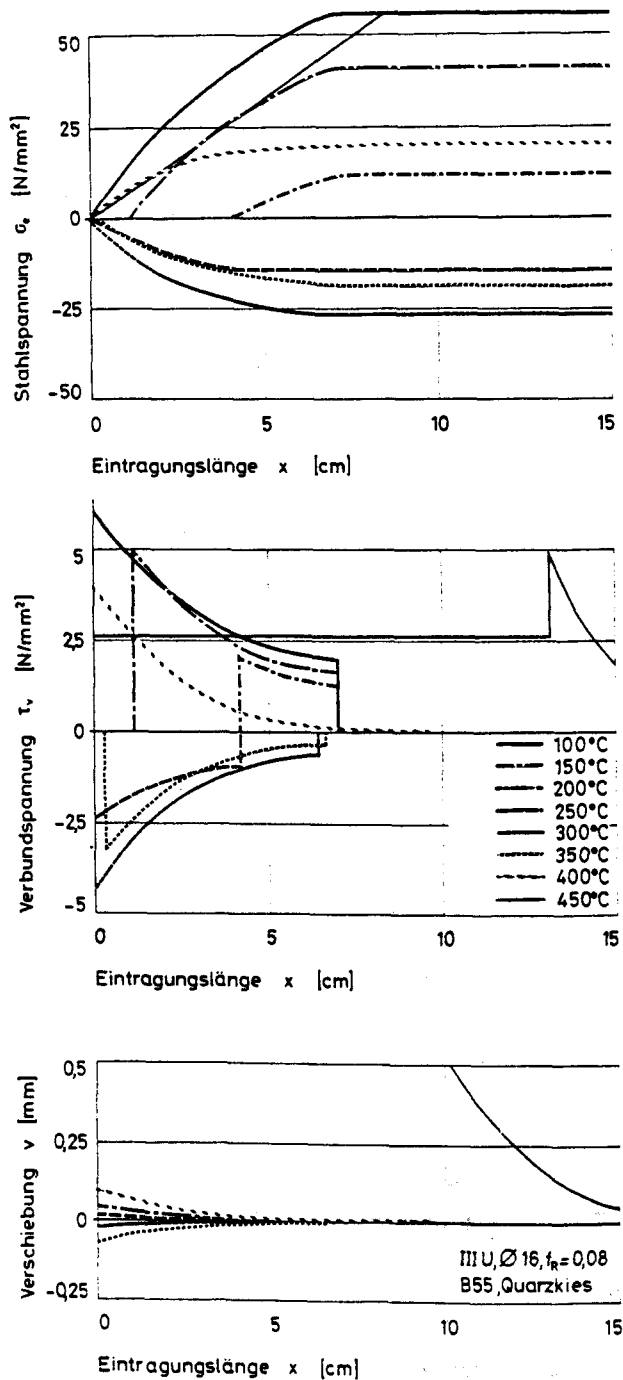


Bild 8.11: Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen infolge Zwangs für B 55 und Stahl III U

Bild 8.11 enthält die rechnerischen Ergebnisse für Stahl III U und Quarzkiesbeton B 55. Hier wird bei rd. 100 °C das erste Maximum der Stahlspannungen erreicht. Anschließend sinkt mit der Differenzdehnung auch die Stahlspannung ab. Der Eintragungsbereich verlagert sich nach innen. Bei Temperaturen über 200 °C werden die Stahlspannungen negativ. Die Eintragungslänge wird wieder größer, der Stahl schiebt sich am Bauteilende heraus. Über 300 °C ergeben sich auch im Stahldruckbereich wieder kürzere Eintragungslängen.

Ab 380 °C wird die Differenzdehnung $\Delta\epsilon(\vartheta) > 0$ und steigt ab hier stetig an. Damit nimmt auch die Eintragungslänge zu.

Bei 450 °C wird die Verbundgrenzspannung überschritten. Die Verbundspannung sinkt dann vereinbarungsgemäß auf $\tau_{VO}(20^\circ\text{C})$; die Stabendverschiebung und die Eintragungslänge steigen dadurch beträchtlich an. Es werden hier aus Zwang Stahlspannungen von rd. 100 N/mm² erreicht, die im Bild jedoch nicht mehr dargestellt werden konnten.

Wird die Temperatur weiter gesteigert, so nehmen die rechnerischen Stabendverschiebungen erheblich zu. Es werden über 500 °C Schlupfwerte erreicht die mit denen eines Kontrollversuchs nicht mehr vergleichbar sind. Die Gegenüberstellung von Versuchs- und Rechenwerten ist in Bild 8.12 enthalten.

Der Vergleich macht deutlich, daß eine Nachrechnung unter den getroffenen Voraussetzungen die Versuchsergebnisse nur in Teilbereichen wiedergibt. Durch die instationären Temperaturen treten im Querschnitt und in Längsrichtung Temperaturgradienten auf, die zum Zwang führen. Die daraus resultierenden Spannungen konnten in der Nachrechnung mit Hilfe eines Näherungsansatzes nicht berücksichtigt werden. Rechenergebnisse und Versuchswerte müssen deshalb zwangsläufig unterschiedlich sein. Rechenansätze, die die Temperaturgradienten im Querschnitt und in Längsrichtung zutreffender erfassen, können nun mit den Kriechgesetzen des Verbundes die temperaturabhängige Verschiebung zwischen Stahl und Beton berücksichtigen und somit die Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen erfassen.

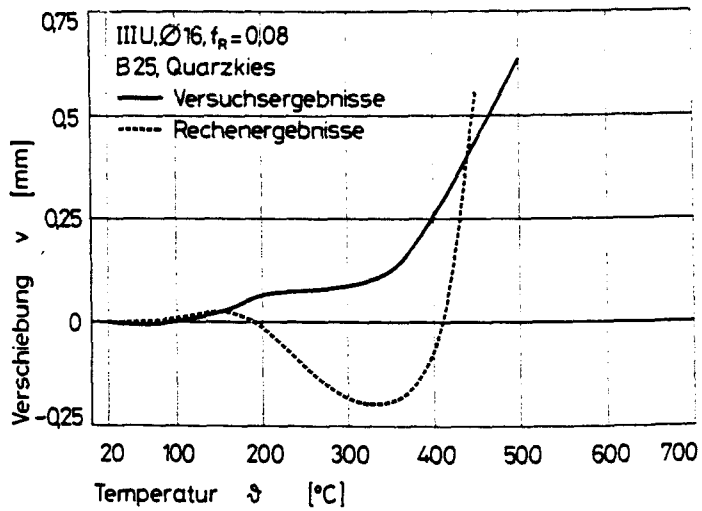


Bild 8.12: Vergleich der Stabendverschiebungen aus Versuchswerten und Rechenergebnissen

9. SCHLUSSBETRACHTUNGEN

9.1 Zusammenfassung

Üblicherweise wird in den Berechnungen brandbeanspruchter Bauteile von starrem Verbund zwischen Stahl und Beton ausgegangen. Ein Grund hierfür ist das Fehlen temperaturabhängiger Stoffgesetze des Verbundes, die eine wirklichkeitsnahe Berücksichtigung der Verschiebungen zwischen Stahl und Beton ermöglichen würden.

Ziel dieser Arbeit war es daher, Stoffgesetze als Grundlage zur rechnerischen Erfassung des temperaturabhängigen Verbundverhaltens zu ermitteln. Außerdem sollten die Stoffgesetze des Verbundes in ihrer grundsätzlichen Anwendbarkeit dargestellt werden.

Hierzu wurde zunächst im zweiten Abschnitt der Kenntnisstand über das Verbundverhalten bei Raumtemperatur dargestellt, soweit er zur Verdeutlichung der Ansätze für hohe Temperaturen erforderlich war.

Der dritte Abschnitt zeigt den Kenntnisstand der Hochtemperaturverbundforschung auf.

Der überwiegende Teil der bisherigen Arbeiten war der Erforschung der Restfestigkeit des Verbundes, nach einer Temperatureinwirkung, gewidmet. Erst neuere Arbeiten befaßten sich mit dem Verbundverhalten bei hohen Temperaturen. Insgesamt läßt sich aus den Darstellungen folgendes ableiten:

- Der Haftverbund verschwindet nahezu bei Temperaturen über 400 °C,
- die Verbundfestigkeit sinkt mit steigender Temperatur,
- mit abnehmender Betondeckung nehmen auch die Verbundbruchfestigkeiten ab,
- das Verbundverhalten wird maßgeblich durch die unterschiedlichen thermischen Dehnungen zwischen Stahl und Beton beeinflusst.

Diese überwiegend phänomenologischen Beschreibungen des Verbundverhaltens sind jedoch nicht geeignet, die Verbundwirkung rechnerisch zu erfassen. Es war somit erforderlich, systematische Untersuchungen durchzuführen, die das Verbundverhalten von praxisüblichen Beton- und Spannstählen mit unterschiedlichen Zuschlagsarten in Form von Verbundspannungs-Verschiebungs-Beziehungen, d. h. in Verbundgesetzen, erfassen.

Die Darstellung der Verbundgesetze enthält der sechste Abschnitt. Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich im einzelnen zusammenfassen:

- Einfluß der Stahlart

Die Verbundbruchspannungen von Betonstahl III K und III U sind nahezu gleich, jedoch werden mit dem Stahl III K größere Verschiebungen bis zum Bruch erreicht, d. h. die Verbundgesetze sind weicher.

Glatte Stäbe erbringen nur eine Verbundbruchspannung von rd. 10 % der Rippenstähle, die dann noch mit steigender Temperatur schnell absinkt. Die Verbundgesetze sind im wesentlichen bilinear.

- Einfluß der Zuschlagsart

Die Steifigkeit der Verbundgesetze mit Quarzkiesbeton verfällt mit steigender Temperatur am deutlichsten. Kalksteinbetone und Leichtbeton zeigen nahezu gleiches Verbundverhalten, die Verbundgesetze der Leichtbetone sind jedoch steifer. Die Leichtbetone mit Blähton als Zuschlag versagten bei allen Temperaturen durch Sprengbruch.

- Einfluß der Lagerungsart

Bei Temperaturen über 500 °C ist kein Einfluß aus der Lagerungsart mehr zu erkennen. Wassergelagerte Versuchskörper weisen sonst weichere Verbundgesetze auf.

Das "Festigkeitsloch" bei 150 °C ist vermutlich auf die Überlagerung von Wasserdampfdruck und Ringzugspannungen zurückzuführen.

- Einfluß der Betondruckfestigkeit

Wie bei Raumtemperatur ist auch bei hohen Temperaturen die Proportionalität zwischen Verbundbruchspannung und Betondruckfestigkeit näherungsweise gegeben. Höhere Druckfestigkeiten erbringen steifere Verbundgesetze.

- Einfluß der Betondeckung

Mit abnehmender Betondeckung werden die Verbundbruchspannungen und Verschiebungen geringer, die Verbundgesetze werden steifer.

Die Abminderung der Verbundbruchspannungen ist bei allen Temperaturen in Bezug auf die Versuchskörper mit Betondeckung $c = 5 d_s$ nahezu gleich. Die Anordnung im Querschnitt (Rand- oder Ecklage) hat nur einen geringen Einfluß auf die Verbundbruchspannungen, jedoch werden bei der Randlage mit steigender Verbundspannung größere Verschiebungen erreicht.

- Einfluß des Stababstandes

Geringe Stababstände führen zu Verbundgesetzen, die der Ecklage von Einzelstäben gleichen, große Stababstände erbringen Verbundgesetze, die der Randlage vergleichbar sind.

- Einfluß der Hakenform

Das Last-Verschiebungsverhalten von Haken und Winkelhaken ist nahezu gleich. Die Schlaufenhaken weisen ein steiferes Last-Verschiebungsverhalten auf. Über 500 °C wird bei allen Formen der Haken aufgezogen.

Das Versagen trat generell durch Sprengbruch auf. Temperaturabhängige Bruchfestigkeit und Betonzugfestigkeit sind proportional.

Im zweiten Teil des sechsten Abschnitts sind die Versuchsergebnisse des Verbundkriechens dargestellt, wobei nach instationärem und stationärem Verbundkriechen unterschieden wurde. Die wesentlichen Ergebnisse sind beim

- instationären Verbundkriechen:

Die instationären Kriechverschiebungen, bezogen auf die spontane Verschiebung bei Belastung, sind im allgemeinen nur von

der Temperatur und nicht vom Belastungsgrad abhängig.

Die instationären Kriechzahlen sind bei gleicher Temperatur größer

- bei höherer Betondruckfestigkeit,
- bei Verwendung von Stahl III K statt III U,
- bei Verwendung von Kalksteinbeton statt Quarzkiesbeton,
- wenn keine Vorbelastungen vorhanden waren.

Die Lagerungsart hatte nahezu keinen Einfluß auf das instationäre Verbundkriechen.

- stationären Verbundkriechen:

Bei stationärem Verbundkriechen unter hohen Temperaturen nach einer Aufheizung unter konstanter Last ergeben sich die Kriechzahlen als lastabhängig wie beim instationären Kriechen.

Jedoch ergeben sich für unterschiedliche Temperaturniveaus unterschiedliche Zeitabhängigkeiten. Die Versuchserfahrung reicht jedoch noch nicht aus, allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten anzugeben, die beobachteten Zeiträume sind zum Teil zu kurz.

Bei stationärem Verbundkriechen unter hohen Temperaturen ergibt sich nahezu die gleiche Zeitabhängigkeit der Kriechfunktion wie bei Raumtemperatur, und zwar für alle Temperaturen und Belastungsgrade.

Die im Versuch ermittelten Verbundgesetze wurden für die rechnerische Berücksichtigung des verschieblichen Verbunds in analytischer Form als Stoffgesetze des Verbundes dargestellt. Diese Stoffgesetze ließen sich mit nur vier temperaturabhängigen Parametern beschreiben. Mit einem Näherungsansatz konnten dann die Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang eines beliebig lang einbetonierten Rippenstahles für hohe Temperaturen ermittelt werden. Die Ergebnisse aus dem siebten Abschnitt können für stetige Belastungen bei hohen Temperaturen wie folgt zusammengefaßt werden:

- Bei großen Betondeckungen ($c > 3 d_s$) nehmen die Verankerungslängen mit steigender Temperatur zu. Das Versagen tritt jeweils durch Überschreiten der Zugfestigkeit des Stahles ein. Die Verbundbruchspannungen werden nicht erreicht.
- Bei geringeren Betondeckungen werden die Verbundgrenzspannungen überschritten, der Beton reißt entlang der Stabachse auf. Dies führt zu großen Stabendverschiebungen.
- Wird vorausgesetzt, daß zur Verankerung einer vorgegebenen Stahlspannung nur das Grundmaß der Verankerungslänge l_o (DIN 1045 18.5.2) zur Verfügung steht, so ergeben sich bei Belastung bis zum Stahlversagen bei Temperaturen über 400 °C große Schlupfwerte. Das Versagen tritt bei großen Betondeckungen durch Stahlfließen, bei Betondeckungen $c \leq 2 d_s$ durch Aufreißen der Betondeckung entlang der Stabachse ein.
- Betrachtet man die Spannungsverteilungen in der Zugzone eines Bauteils, so tritt beim Quarzkiesbeton B 55 das Versagen durch Stahlfließen ein, beim B 25 jedoch immer durch Überschreiten der Zugfestigkeit des Betons. Erst bei einer Betondeckung $c = 1 d_s$ würden hier vorher die Verbundgrenzspannungen überschritten und Längsrisse auftreten.

Hieraus kann insgesamt abgeleitet werden, daß Betondeckungen von $1 d_s = 16 \text{ mm}$ zu vermeiden sind, da ein vorzeitiges Versagen durch Aufreißen der Betondeckung eintreten kann. Sind auch die Verankerungsbereiche der Betonbauteile durch hohe Temperaturen beansprucht, so kann ein vorzeitiges Bauteilversagen durch Verbundbruch auch noch bei einer Betondeckung $c = 2 d_s$ auftreten. Die in DIN 4102 angegebenen Betondeckungen $c = (u - d_s/2)$ für "F 90" ergeben sich aus dieser Betrachtung als ausreichend. Für "F 30" und "F 60" erscheinen die angegebenen Betondeckungen hingegen als zu gering. Jedoch muß hier erwähnt werden, daß über den Einfluß einer Querbewehrung keine Aussagen gemacht werden können, da hierüber keine Versuchserfahrungen für hohe Temperaturen vorliegen.

Im achten Abschnitt wurden die Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen entlang der Eintragungslänge infolge thermischen Zwangs durch instationäre Temperaturen dargestellt. Berücksichtigt wurden hierbei Materialgesetze des Stahls und Betons sowie Kriechgesetze des Verbundes, die inelastische Verformungs- und Verschiebungsanteile beinhalten.

Die lastabhängigen Kriechzahlen der Verbunduntersuchungen ließen sich als Kriechgesetze in der Form $\varphi_{v1}(\dot{\epsilon}) = q \cdot \dot{\epsilon}^p$ stellen. Dies ermöglichte die Bestimmung der Spannungsverteilungen und Stabverschiebungen bei instationären Temperaturen ohne äußere Lasten. Versuchsergebnisse und Rechenwerte stimmen jedoch nur in der Größenordnung überein.

9.2 Offene Probleme

Bei der Beurteilung brandbeanspruchter Bauteile könnten nun aufgrund der entwickelten Stoff- oder Kriechgesetze des Verbundes die last- und temperaturbedingten Verschiebungen und Spannungsänderungen entlang der Stabachse berücksichtigt werden. Die vorliegende Arbeit konnte in einer ersten Näherung die Anwendung der Gesetzmäßigkeiten aufzeigen.

Darüber hinaus bleiben einige Probleme offen, die wie folgt in drei Komplexe zusammengefaßt werden können:

- Versuche

Es hat sich gezeigt, daß bei der rechnerischen Analyse zur wirklichkeitsnahen Berücksichtigung des Sprengbruchverhaltens Erfahrungen über den Einfluß einer Querbewehrung fehlen. Hierzu sollten Versuche durchgeführt werden. Ebenso fehlen Versuchsergebnisse, die das temperaturabhängige Verhalten von Übergreifungsstößen klären.

Bei der Analyse des instationären Verbundkriechens wurde vorausgesetzt, daß die Kriechgesetze, die an zentrischen Versuchskörpern gewonnen wurden, allgemein gelten. Es fehlen jedoch Erfahrungen aus Kriechversuchen von exzentrisch

angeordneten Bewehrungsstäben. Es ist zu erwarten, daß sich aufgrund der Druckspannungen im Randbereich bei instationären Temperaturen veränderte Kriechgesetze ergeben.

Weiterhin ist festzustellen, daß für die Bearbeitung von Zwangsproblemen das Relaxationsverhalten der Stähle bekannt sein muß. Die hierzu erforderlichen Versuchserfahrungen sind zu gering.

- Berechnungen

Das in dieser Arbeit angegebene Berechnungsverfahren zur Berücksichtigung des Verbundkriechens ist eine erheblich vereinfachende Näherungslösung. Zweifelsohne würde jedoch eine bessere Übereinstimmung zwischen Versuch und Rechnung erreicht werden, wenn die Kriechgesetze auf Verbundkriechelemente angewendet würden, die in einer diskretisierenden Berechnung, z. B. nach der FEM-Methode, eingeführt werden müßten. Hierbei könnte dann auch der Einfluß äußerer Lasten sowie inhomogener Temperaturverteilungen im Querschnitt berücksichtigt werden.

Des weiteren fehlt bis jetzt noch die rechnerische Berücksichtigung der Haken. Hierfür konnte noch kein befriedigender Ansatz gefunden werden.

- Kleinbauteilversuche

Parallel mit der Erfassung des Verbundverhaltens in FEM-Programmen sollten zusätzliche Kleinbauteil-Versuche durchgeführt werden.

Dabei interessiert vorrangig die Frage, ob Verankerungen mit geraden Stabenden und Übergreifungsstößen, die nach DIN 1045 für Raumtemperatur dimensioniert worden sind, mit den entwickelten Rechenansätzen auch für hohe Temperaturen zutreffend bestimmt werden können. Diese Untersuchungen sollten an Biegebalken erfolgen, wobei sowohl lineare Aufheizung als auch ETK-Beflammung vorzusehen wären.

LITERATURVERZEICHNIS

- [2.1] DÖRR, K., MEHLHORN, G., STAUDER, W., UHLISCH, D.:
"Berechnung von Stahlbetonscheiben im Zustand II bei
Annahme eines wirklichkeitsnahen Werkstoffverhaltens".
Heft 238, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Verlag
Wilhelm Ernst & Sohn, 1974.
- [2.2] CEB: "Bond action and bond behaviour of reinforcement
- State of art report". Bulletin d'information Nr. 151,
Bureau de Paris, April 1982.
- [2.3] ROSTASY, F.S., ROHLING, A.: "Konstitutives Stoffgesetz
des Verbundverhaltens von einbetoniertem Bewehrungs-
stahl - Arbeitsbericht II/1: Literaturstudie." Bericht
des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz,
Februar 1984.
- [2.4] REHM, G.: "Über die Grundlagen des Verbundes zwischen
Stahl und Beton." Heft 138, Deutscher Ausschuß für
Stahlbeton, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, 1961.
- [2.5] LUTZ, A. LEROY; GERGELY, P.: "Mechanics of bond and
slip of deformed bars in concrete." ACI-Journal,
Nov. 1967, S. 711 - 721.
- [2.6] FIP/RILEM: "Bond test for reinforcing steel, 1. beam-
test; 2. pull-out-test." Vol.3 - Nr.15 - 1970
matériaux et construction. S. 169 - 178.
- [2.7] WÖLFEL, E., KRÜGER, F.: "Verbundverankerung von Spann-
stählen - Zulassungsprüfung und Anwendungsbedingungen."
Mitteilungen des IfBt 6/1980, S. 162 - 177.
- [2.8] WAHLA, M.J.: "Direct measurement of bond-slip in rein-
forced concrete." Ph. D. Thesis, Cornell University,
Jan. 1970.

- [2.9] TANNER, J.A.: "An experimental investigation of bond slip in reinforced concrete." M.H.Thesis, Cornell University, Nov. 1971.
- [2.10] NILSON, A.H.: "Bond stress-slip relations in reinforced concrete." Report Nr. 345, Cornell University, Dez. 1971.
- [2.11] REHM, G.: "Kriterien zur Beurteilung von Bewehrungsstäben mit hochwertigem Verbund. RÜSCH-Festschrift
- [2.12] MARTIN, H.: "Zusammenhang zwischen Oberflächenbeschaffenheit, Verbund und Sprengwirkung von Bewehrungsstählen unter Kurzzeitbelastung." Heft 228, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, 1973.
- [2.13] NOAKOWSKI, P.: "Die Bewehrung von Stahlbetonbauteilen bei Zwangsbeanspruchung infolge Temperatur." Heft 296, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, 1978.
- [2.14] GOTO, Y.: "Cracks formed in concrete around deformed tension bars." ACI-Journal, April 1971.
- [2.15] TEPFERS, R.: "Cracking of concrete cover along anchored deformed reinforcing bars." Magazin of concrete research, Vol.31, Nr. 106, März 1979.
- [2.16] BACHMANN, H.: "Zur plastizitätstheoretischen Berechnung statisch unbestimmter Stahlbetonbalken." Dissertation, 1967, ETH Zürich.
- [2.17] EIFLER, H.: "Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken." Forschungsbericht 96, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin, 1983.

- [2.18] FRANKE, L.: "Einfluß der Belastungsdauer auf das Verbundverhalten von Stahl in Beton (Verbundkriechen). Heft 268, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, 1976.
- [2.19] ROSTASY, F.S.; KEPP, B.: "Time-dependence of bond." Bond in Concrete, Edited by P. Bartos, Applied science publishers, London, 1983.
- [2.20] SVENSVIK, B.: "Zum Verformungsverhalten gerissener Stahlbetonbalken unter Einschluß der Mitwirkung des Betons auf Zug in Abhängigkeit von Last und Zeit." Dissertation, TU Braunschweig, 1981.
- [2.21] KOCH, R.: "Verformungsverhalten von Stahlbetonstäben unter Biegung und Längszug im Zustand II auch bei Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen." Dissertation, Universität Stuttgart, 1976.
- [3.1] MILOVANOV, A.F.; SALMANOV, G.D.: "Der Einfluß hoher Temperaturen auf die Eigenschaften von Bewehrungsstäben und die Größe der Haftung zwischen Bewehrung und Beton." Issledovanija po zaronpornyne betonu i zelezobetonu, 1954, S. 203 - 223.
- [3.2] REICHEL, V.: "How fire affects steel-to-concrete bond." Building REsearch and Practice, May/June 1978, S. 176 - 186.
- [3.3] IL'IN, N.A.: "Kohäsion von Stabarmierungen mit Leichtbeton nach einer Erhitzung bis auf 700 °C." Beton i zelezobeton, 1971 H. 2, S. 24 - 25.
- [3.4] HARADA, T.; TAKEDA, J.; YAMANE, S.; FURUMURA, F.: "Strength, elasticity and thermal properties of concrete subjected to elevated temperatures." American Concrete Inst., SP 34, "Concrete for Nuclear reactors." 1971, S. 377 - 406.

- [3.5] KASAMI, H.; OKUNO, T.; YAMANE, S.: "Properties of concrete exposed to sustained elevated temperatures." Third International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, London, Sept. 1975. Veröff. in North-Holland Publishing, 1975, Vol.3, pp 1 - 10, Part H 1/5.
- [3.6] ROSTASY, F.S.; SAGER, H.: "Hochtemperaturverbundverhalten von Beton- und Spannstählen." Sonderforschungsbereich 148 "Brandverhalten von Bauteilen", Teilprojekt B 5, Arbeitsbericht 1981 - 1983, Teil II, S. 213 - 238.
- [3.7] MORLEY, P.D.; ROYLES, R.: "The Influence of High Temperatures on the Bond in Reinforced Concrete." Fire Safety Journal, 2 (1979/80), S. 243 - 255.
- [3.8] HERTZ, K.: "Bond between Concrete and deformed Bars exposed to high Temperatures." Institute of Building Design, CIB W 14 meeting, Athen, 1980.
- [3.9] SCHNEIDER, U.; DIEDERICH, U.: "Verbundverhalten und Verbundfestigkeit bei hohen Temperaturen." Betonwerk + Fertigteil-Technik, 6/80.
- [3.10] SCHNEIDER, U.; DIEDERICH, U.: "Untersuchung des Verbundverhaltens und der Verbundfestigkeit von Rippenstählen und glatten Rundstählen bei hohen Temperaturen (Entwicklung und Erprobung einer Prüfapparatur)." - Bericht - Forschungsauftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Braunschweig, 1978.
- [3.11] ROSTASY, F.S.; SAGER, H.: "Zum Einfluß hoher Temperaturen auf das Verbundverhalten von Betonrippenstählen." Betonwerk + Fertigteil-Technik 11,12/82.

- [3.12] ROSTASY, F.S., SAGER, H.: "Hochtemperatur-Verbundverhalten von Beton- und Spannstählen". Sonderforschungsbereich 148 "Brandverhalten von Bauteilen". Teilprojekt B 5, Arbeitsbericht 1978 - 1980, Teil II, S. 193 - 246.

- [3.13] MORLEY, P.D.; ROYLES, R.: "Response of the bond in reinforced concrete to high temperatures." Magazine of Concrete Research, Vol. 35, No. 123 + 124, Juni u. September 1983.

- [3.14] DIEDERICH, U.: "Untersuchungen über den Verbund zwischen Stahl und Beton bei hohen Temperaturen." Dissertation, TU Braunschweig, 1982.

- [4.1] Sager, H.: "Zum Einfluß hoher Temperaturen auf das Verbundverhalten von einbetonierten Bewehrungsstäben." Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1984.

- [4.2] BIRKENMAIER, M.: "Verbundprobleme bei Spannbett-Vorspannung." Schweizerische Bauzeitung, 95. Jg., Heft 26, Juni 1977.

- [4.3] SCHNEIDER, U.; DIEDERICH, U.; WEISS, R.: "Hochtemperaturverhalten von Festbeton." Sonderforschungsbereich 148 "Brandverhalten von Bauteilen." Teilprojekt B 3, Arbeitsbericht 1975 - 1977, Teil II, S. 1 - 95.

- [4.4] SCHNEIDER, U.; DIEDERICH, U.; ROSENBERGER, W.; WEISS, R.: "Hochtemperaturverhalten von Festbeton." Sonderforschungsbereich 148 "Brandverhalten von Bauteilen", Teilprojekt B 3, Arbeitsbericht 1978 - 1980, Teil II, S. 1 - 142.

- [4.5] SCHNEIDER, U.; DIEDERICH, U.; EHM, C.; HINRICHSMEYER, K.: "Hochtemperaturverhalten von Festbeton." Sonderforschungsbereich 148 "Brandverhalten von Bauteilen", Teilprojekt B 3, Arbeitsbericht 1981 - 1983, Teil II, S. 1 - 152.

- [7.1] BRONSTEIN-SEMENDJAJEW: "Taschenbuch der Mathematik." Teubner-Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- [7.2] POPOVICS, S.: "A numerical approach to the complete stress-strain curve of concrete." Cement and Concrete Research, Volume 3, 1973.
- [7.3] CEB-FIP Model code: "Design of concrete structures for fire resistance". Bulletin d'information, Nr. 145, Jan. 1982.
- [7.4] QUAST, U.; HASS, R.; RUDOLPH, K.: "STABA-F; A computer Program for the determination of load-bearing and deformation behaviour of uni-axial structural elements under fire action. CIB, 1984.
- [7.5] SCHNEIDER, U.: "Ein Beitrag zur Frage des Kriechens und der Relaxation von Beton unter hohen Temperaturen." Habilitationsschrift, TU Braunschweig, 1979.
- [8.1] RUGE, J.; LINNEMANN, R.: "Festigkeits- und Verformungsverhalten von Bau-, Beton- und Spannstählen bei hohen Temperaturen." Sonderforschungsbereich 148 "Brandverhalten von Bauteilen." Arbeitsbericht 1981 - 1983, Teil II, S. 159 - 211.
- [8.2] RICHTER, E.: "Ein Beitrag zur Klärung des Begriffs 'kritische Temperatur' für die Beurteilung brandbeanspruchter Bauteile." (Dissertation in Vorbereitung), Technische Universität Braunschweig.

Inhaltsverzeichnis des Anhangs

Seite

Allgemeine Hinweise	A 1 - A 5
Tabelle der temperaturabhängigen Druck- festigkeiten	A 6
U1/QI/S1	A 7 - A 82
U1/QII/S1	A 83 - A 114
U1/KI/S1	A 115 - A 125
U1/KI/S2	A 126 - A 131
U1/KII/S1	A 132 - A 142
U2/QI/S1	A 143 - A 152
U3/QI/S1	A 153 - A 158
U4/QI/S1	A 159 - A 165
G/QI/S1	A 166 - A 186
K/QI/S1	A 187 - A 198
K/QI/S2	A 199 - A 206
K/QII/S1	A 207 - A 218
K/QII/S2	A 219 - A 226
K/KI/S1	A 227 - A 234
K/KI/S2	A 235 - A 242
K/LT/S1	A 243 - A 250
K/LS/S1	A 251 - A 258
Sp/QII/L1	A 259 - A 266
Sp/QII/L2	A 267 - A 280
Sp/KII/L2	A 281 - A 286
Li/QII/S1	A 287 - A 299
Li/KII/S1	A 300 - A 305
REM-Aufnahmen	A 306 - A 309

Anhang

Der Anhang ist nach Tabelle 4.4 gegliedert. Die Versuchsergebnisse der Verbunduntersuchungen sind hier getrennt nach den einzelnen Versuchsparametern dargestellt. Es werden somit für jede Serie im folgenden die Ergebnisse der zentrischen Ausziehversuche und der instationären Kriechversuche dargestellt. Die angegebenen Verbundgesetze und Kriechfunktionen sind Mittelwerte bei jeweils einer Temperaturstufe.

Ergänzt werden diese Darstellungen bei einigen Serien durch die Versuchsergebnisse der exzentrischen Ausziehversuche, der Untersuchungen an Doppelstäben sowie der an Haken, Winkelhaken und Schlaufenhaken.

Die Serien sind im einzelnen wie folgt gegliedert (soweit Versuchsergebnisse vorliegen):

1. Zentrische Ausziehversuche
 - 1.1 Materialdaten und verwendete Versuchskörper je Temperaturstufe der Ausziehversuche bzw. Anzahl der Versuchskörper je Laststufe bei den instationären Kriechversuchen
 - 1.2 Verbundgesetze (zum Teil einschließlich der Stoffgesetze)
 - 1.3 Verbundgesetze (halblogarithmische und doppeltlogarithmische Darstellung)
 - 1.4 Tabelle der Verbundspannungen der Einzelwerte und Mittelwerte einschließlich der Streuungen sowie der auf die temperaturabhängige Druckfestigkeit bezogenen Mittelwerte für ausgewählte Verschiebungen
 - 1.5 Abbildung und Tabelle der die Verbundfunktion beeinflussenden Größen τ_{\max} , v_{\max} , τ_{vo} und m

2. Instationäres Kriechen

2.1 Versuchsergebnisse der Kriechuntersuchungen, getrennt nach der temperaturabhängigen Darstellung der Gesamtverschiebung $v()$, der Kriechverschiebung $v_{Ki}()$ und der instationären Verbundkriechzahlen $K_i()$.

2.2 Instationäre Kriechgesetze

2.3 Kritische Kriechtemperatur

2.4 Vergleich von Kriechgesetz und der im Versuch ermittelten Kriechzahlen

3. Exzentrische Ausziehversuche

3.1 Materialdaten und Liste der verwendeten Versuchskörper

3.2 Verbundgesetze

3.3 Verbundgesetze (halb- und doppeltlogarithmische Darstellung)

3.4 Tabelle der Verbundspannungen wie unter (1.4)
(Diese Angaben erfolgen für die jeweiligen Stabanordnungen und Betondeckungen.)

4. Ausziehversuche Doppelstäbe

Hier werden nur die 6 Serien in halb- und doppeltlogarithmischem Maßstab dargestellt.

5. Ausziehversuche Haken, Winkelhaken und Schlaufen

5.1 Materialdaten und Liste der verwendeten Versuchskörper

5.2 Verbundgesetze (jeweils in einem Bild alle Meßpunkte eines Versuchskörpers)

5.3 Tabelle der Stahlspannungen bei ausgewählten Verschiebungen

Die Stahlspannung ergibt sich jedoch generell aus aufgebracht
brachter Last, geteilt durch die Stahlfläche. Es ist nicht die örtliche
Stahlspannung des Meßpunktes.

Zur übersichtlicheren Datenspeicherung der Ausziehversuche wurden folgende Vereinbarungen getroffen:

Der Name besteht aus 5 Segmenten:

Teil 1 bezieht sich auf die Stahlart

U = BSt 420/500 RU

K = BSt 420/500 RK

G = BSt 240/320 IG

SP = SpSt 1470/1670 profiliert

= Litze 1570/1770 (7-drähtig)

Beim Stahl III U wird weiterhin unterschieden in:

U1 = bez. Rippenfläche $f_R = 0,08$

U2 = bez. Rippenfläche $f_R = 0,07$

U3 = bez. Rippenfläche $f_R = 0,035$

U4 = $f_R = 0,07$, jedoch Verankerungslänge $l_V = 2 d_s$

Teil 2 beschreibt die Betongüte und Art

Q = Quarzkies

K = Kalkstein

LT = Blähton

LS = Blähschiefer

I = B 25

II = B 55

Teil 3 gibt im allgemeinen die Lagerungsart an

S1 = 20 °C/65 % r.F.

S2 = 20 °C/100 % r.F.

Nur beim Spannstahl wurde hier die Verankerungslänge angegeben mit:

L1 = 5 d_s

L2 = 10 d_s

Teil 4 gibt die Nummer des Versuchskörpers an. Es wurden je Betonage maximal 20 Versuchskörper hergestellt. Somit ergeben sich bei Verwendung mehrerer Betonagen für eine Serie Nummern von 1 - 20, 21 - 40, 41 - 60 bei durchgehender Numerierung.

Teil 5 gibt die Temperaturstufe an.

Tabelle der temperaturabhängigen Druckfestigkeiten für die einzelnen Betonarten, wie sie bei der Erstellung der folgenden Tabellen benutzt wurden.

Temp.	Quarkiesbeton						Kalksteinbeton				Leichtbeton			
	B25 ¹⁾ /IIIU,IIIK		B55 ²⁾ IIIU,IIIK		B55 ³⁾ SpSt,Litze		B25 ⁴⁾		B55 ⁵⁾		LS ⁶⁾		ST ⁷⁾	
	%	N/mm ²	%	N/mm ²	%	N/mm ²	%	N/mm ²	%	N/mm ²	%	N/mm ²	%	N/mm ²
20	100,0	30,7	100,0	62,7	100,0	56,0	100,0	28,0	100,0	50,4	100,0	31,3	100,0	40,2
150	94,5	30,5	80,0	50,4	80,0	44,8	90,0	25,4	89,5	45,1	85,9	26,9	106,0	42,7
200	99,0	30,4	96,0	60,2	96,0	53,8	87,0	24,5	113,8	57,4	-	-	-	-
300	95,4	29,3	98,5	61,8	98,5	55,2	88,0	24,8	109,9	55,4	99,7	31,2	94,0	37,8
400	83,7	25,7	70,0	43,9	70,0	39,2	83,0	23,4	113,3	57,1	-	-	-	-
500	62,8	19,3	38,0	23,9	38,0	21,3	78,5	22,1	90,6	45,7	93,9	29,4	73,1	29,4
600	39,5	12,1	18,0	11,3	18,0	10,1	77,0	21,7	73,1	36,8	-	-	-	-
700	32,6	10,0	14,0	8,8	14,0	7,8	60,0	16,9	45,0	22,7	81,8	25,6	57,0	22,9
800	21,2	6,5	10,0	6,3	10,0	6,3	-	-	21,2	6,5	-	-	-	-

1) Schneider: SFB-Bericht 75/77

2) Rosenberger: unveröffentlicht

3) Rosenberger: unveröffentlicht

4) Abrams: RILEM COM 44-PHT

5) Sager: unveröffentlicht

6)

7)

U1/QI/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

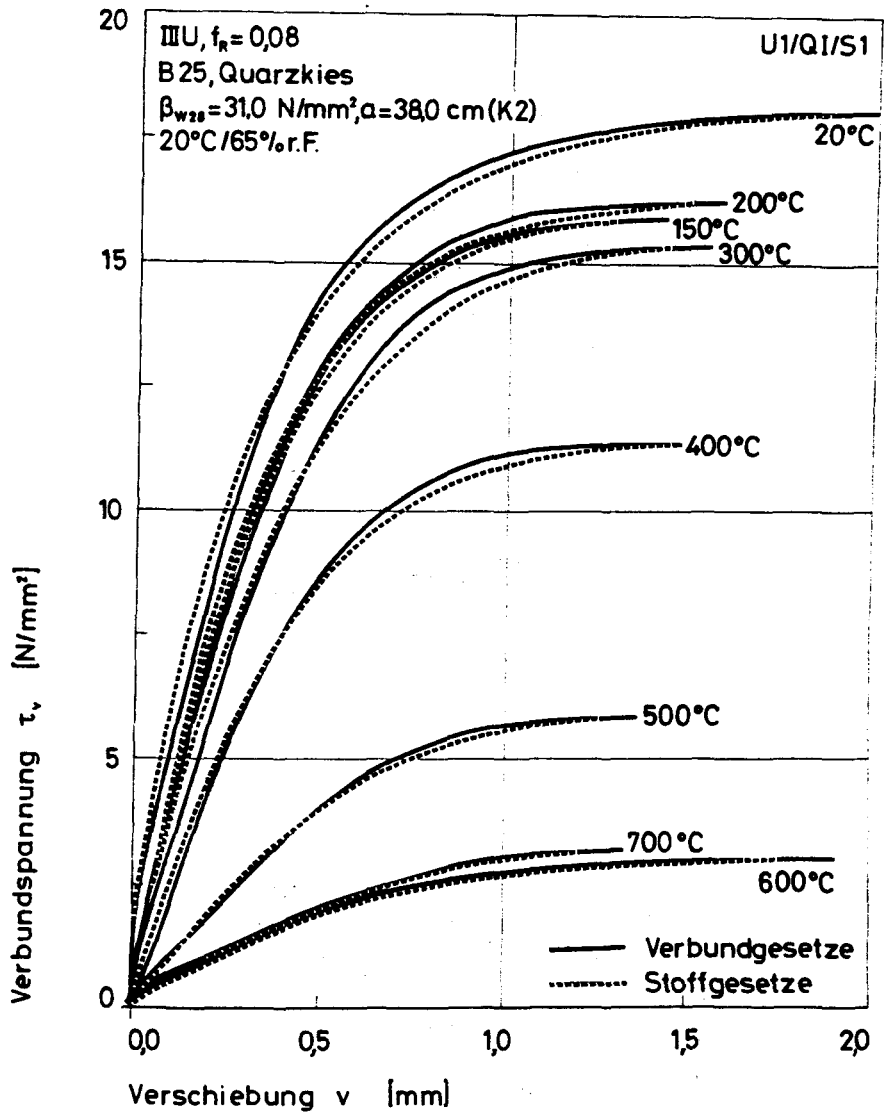
***** U1/QI/S1 *****

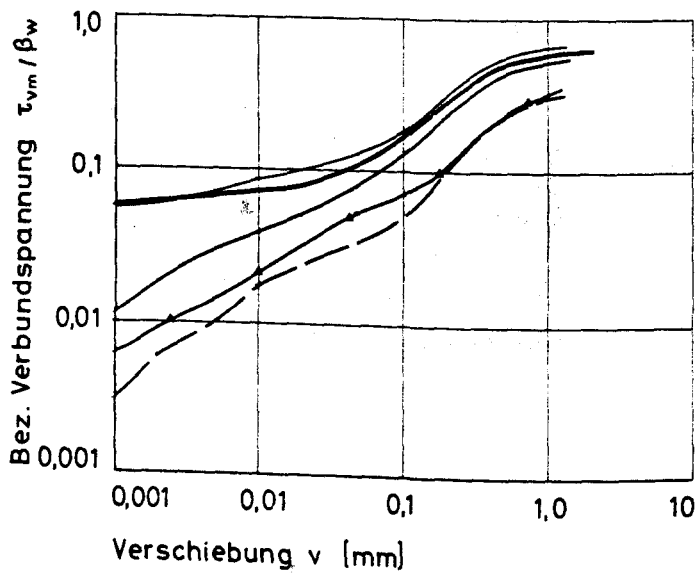
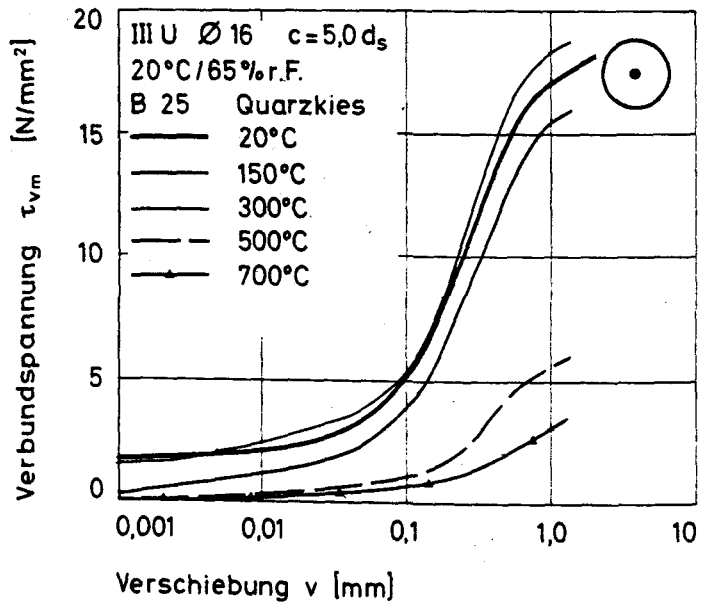
Stahl : IIIU , $f(R)=0.08$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B25
 Zuschlagsart : QUARZKIES
 Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.70
 Wasser-Zement-Wert : 0.87
 Ausbreitmass : 38.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.11
 Beta-W,28 : 31.0 N/mm**2
 Beta-W,VD : 34.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.43 N/mm**2

Ausziehversuche :			Inst. Kriechversuche :	
Temperatur	Nummer	Anzahl	Belastungsgrad	Anzahl
20 GRD : 6,11,14		3	0.13 P/P(20) :	2
150 Grd : 10,16,20		3	0.25 P/P(20) :	2
200 Grd : 12		1	0.35 P/P(20) :	3
300 Grd : 7,15,18		3	0.50 P/P(20) :	3
400 Grd : 2,17		2	0.60 P/P(20) :	3
500 Grd : 1,8,13		3	0.70 P/P(20) :	2
600 Grd : 19		1	0.85 P/P(20) :	1
700 Grd : 4,9		2		

(Datenfile z.B.: U1/QI/S1/10/150)

Bemerkungen :

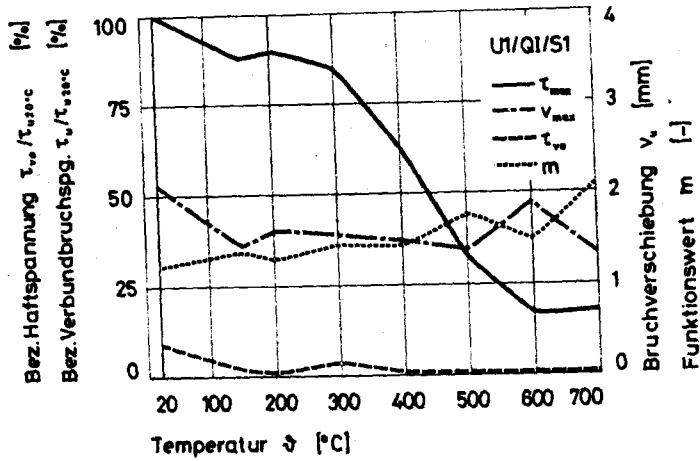




U1/Q1/S1	T ₀ N/mm ²	T ₀₁ N/mm ²	T ₀₂ N/mm ²	T ₀₃ N/mm ²	T ₀₄ N/mm ²	T ₀₅ N/mm ²	T ₀₆ N/mm ²	T ₀₇ N/mm ²	v _{max} mm
U1/Q1/S1/6/20	1.343	1.606	4.476	10.893	17.433	17.757	18.716	2.086	
U1/Q1/S1/11/20	1.513	2.394	5.672	11.492	17.475	17.822	19.819	2.530	
U1/Q1/S1/14/20	2.023	2.466	5.237	10.391	15.757	15.958	16.401	1.935	
Mittelwert	1.629	2.142	5.128	10.906	16.889	17.179	18.045	2.024	
Varianz	0.082	0.146	0.244	0.225	0.641	0.746	1.367	0.004	
Streuung	0.287	0.382	0.494	0.474	0.801	0.864	1.169	0.064	
Mittelw. / Beta	0.053	0.070	0.167	0.355	0.550	0.360	0.588		
Tau max. = 100%	9.0 %	11.9 %	28.4 %	60.4 %	93.6 %	95.2 %	100.0 %		
Tau max. 20 °C	8.9 %	11.8 %	28.1 %	59.8 %	92.7 %	94.3 %	99.0 %		
U1/Q1/S1/10/150	0.229	1.044	3.404	7.819	14.287	14.588	15.020	1.815	
U1/Q1/S1/16/150	0.651	1.320	3.677	8.451	14.700	14.990	15.602	1.580	
U1/Q1/S1/20/150	0.041	1.171	4.633	11.393	0.000	0.000	17.010	0.832	
Mittelwert	0.305	1.178	3.905	9.201	14.493	14.789	15.877	1.416	
Varianz	0.065	0.013	0.278	2.399	0.043	0.040	0.698	0.168	
Streuung	0.256	0.113	0.527	1.529	0.267	0.201	0.835	0.410	
Mittelw. / Beta	0.010	0.039	0.129	0.304	0.478	0.488	0.524		
Tau max. = 100%	1.9 %	7.4 %	24.6 %	58.0 %	91.3 %	93.1 %	100.0 %		
Tau max. 20 °C	1.7 %	6.5 %	21.6 %	51.0 %	80.3 %	82.0 %	88.0 %		
U1/Q1/S1/12/200	0.038	0.816	3.990	9.600	15.822	15.870	16.183	1.592	
Mittelwert	0.038	0.816	3.990	9.600	15.822	15.870	16.183	1.592	
Mittelw. / Beta	0.001	0.027	0.132	0.318	0.517	0.525	0.536		
Tau max. = 100%	0.2 %	5.0 %	24.7 %	59.3 %	96.5 %	98.1 %	100.0 %		
Tau max. 20 °C	0.2 %	4.5 %	22.1 %	53.2 %	86.6 %	87.9 %	89.7 %		
U1/Q1/S1/5/300	1.780	3.518	6.751	13.860	20.992	21.123	21.236	1.236	
U1/Q1/S1/7/300	1.200	1.672	3.855	6.891	15.435	15.615	16.080	1.509	
U1/Q1/S1/13/300	0.048	0.411	2.660	7.921	14.188	14.429	14.744	1.464	
U1/Q1/S1/18/300	0.502	0.803	2.768	7.499	14.306	14.605	15.114	1.570	
Mittelwert	0.883	1.601	4.008	9.478	16.215	16.443	16.784	1.445	
Varianz	0.437	1.438	2.726	6.601	7.655	7.506	6.817	0.016	
Streuung	0.661	1.197	1.651	2.569	2.766	2.740	2.611	0.128	
Mittelw. / Beta	0.050	0.055	0.138	0.326	0.557	0.565	0.577		
Tau max. = 100%	5.3 %	9.5 %	23.9 %	56.4 %	96.6 %	97.9 %	100.0 %		
Tau max. 20 °C	4.9 %	8.9 %	22.2 %	52.5 %	89.9 %	91.1 %	93.1 %		
U1/Q1/S1/2/400	0.098	0.286	2.373	6.334	11.245	11.446	11.638	1.543	
U1/Q1/S1/17/400	0.020	0.103	1.700	5.764	10.659	10.837	11.008	1.412	
Mittelwert	0.059	0.194	2.036	6.049	10.952	11.141	11.923	1.477	
Varianz	0.002	0.008	0.113	0.081	0.086	0.093	0.099	0.004	
Streuung	0.039	0.092	0.397	0.285	0.293	0.305	0.315	0.065	
Mittelw. / Beta	0.002	0.008	0.080	0.237	0.429	0.437	0.444		
Tau max. = 100%	0.5 %	1.7 %	18.0 %	59.4 %	96.7 %	98.4 %	100.0 %		
Tau max. 20 °C	0.3 %	1.1 %	11.9 %	39.5 %	60.7 %	61.7 %	62.7 %		
U1/Q1/S1/1/500	0.008	0.165	0.650	2.186	5.277	5.420	5.581	1.439	
U1/Q1/S1/8/500	0.009	0.220	0.856	2.743	5.919	6.028	6.144	1.229	
U1/Q1/S1/13/500	0.065	0.523	1.329	2.816	5.459	5.969	5.687	1.429	
Mittelwert	0.027	0.303	0.945	2.582	5.552	5.672	5.804	1.366	
Varianz	0.001	0.025	0.081	0.079	0.073	0.067	0.060	0.009	
Streuung	0.027	0.157	0.284	0.281	0.270	0.259	0.244	0.097	
Mittelw. / Beta	0.001	0.016	0.049	0.135	0.291	0.297	0.304		
Tau max. = 100%	0.5 %	5.2 %	16.9 %	44.5 %	95.7 %	97.7 %	100.0 %		
Tau max. 20 °C	0.2 %	1.7 %	5.2 %	14.3 %	90.8 %	91.4 %	92.2 %		
U1/Q1/S1/19/600	0.057	0.218	0.552	1.181	2.614	2.697	2.966	1.914	
Mittelwert	0.057	0.218	0.552	1.181	2.614	2.697	2.966	1.914	
Mittelw. / Beta	0.005	0.013	0.046	0.098	0.218	0.225	0.247		
Tau max. = 100%	1.9 %	7.3 %	18.6 %	39.8 %	68.1 %	90.9 %	100.0 %		
Tau max. 20 °C	0.3 %	1.2 %	3.1 %	6.5 %	14.5 %	14.9 %	16.4 %		
U1/Q1/S1/4/700	0.065	0.254	0.700	1.406	2.884	3.007	3.085	1.278	
U1/Q1/S1/9/700	0.012	0.159	0.632	1.312	2.883	3.049	3.153	1.354	
Mittelwert	0.038	0.206	0.666	1.359	2.884	3.028	3.121	1.316	
Varianz	0.001	0.002	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	
Streuung	0.026	0.048	0.034	0.047	0.001	0.021	0.033	0.038	
Mittelw. / Beta	0.004	0.021	0.067	0.137	0.290	0.305	0.314		
Tau max. = 100%	1.2 %	6.6 %	21.9 %	43.6 %	92.4 %	97.0 %	100.0 %		
Tau max. 20 °C	0.2 %	1.1 %	3.7 %	7.5 %	16.0 %	16.8 %	17.3 %		

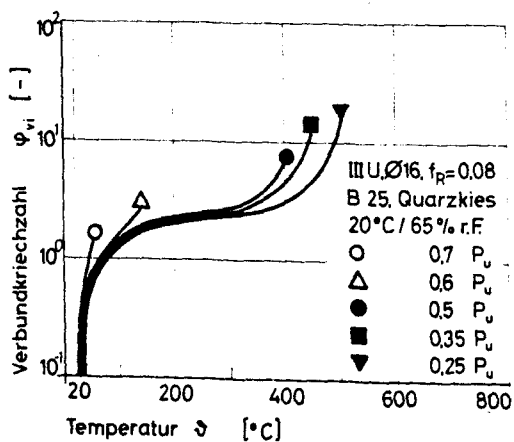
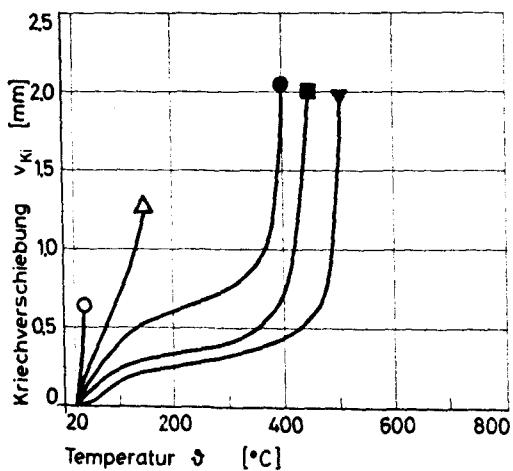
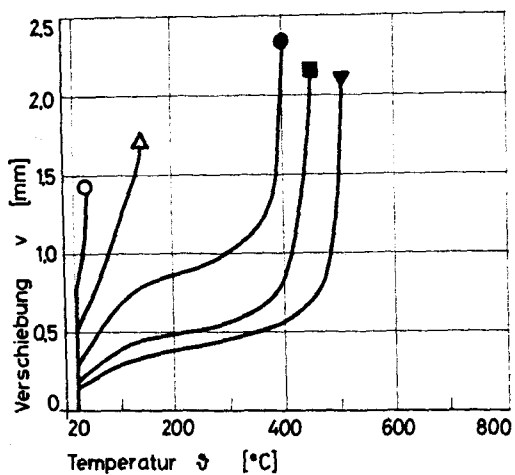
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie U1/QI/S1
für die Verbundfunktion:

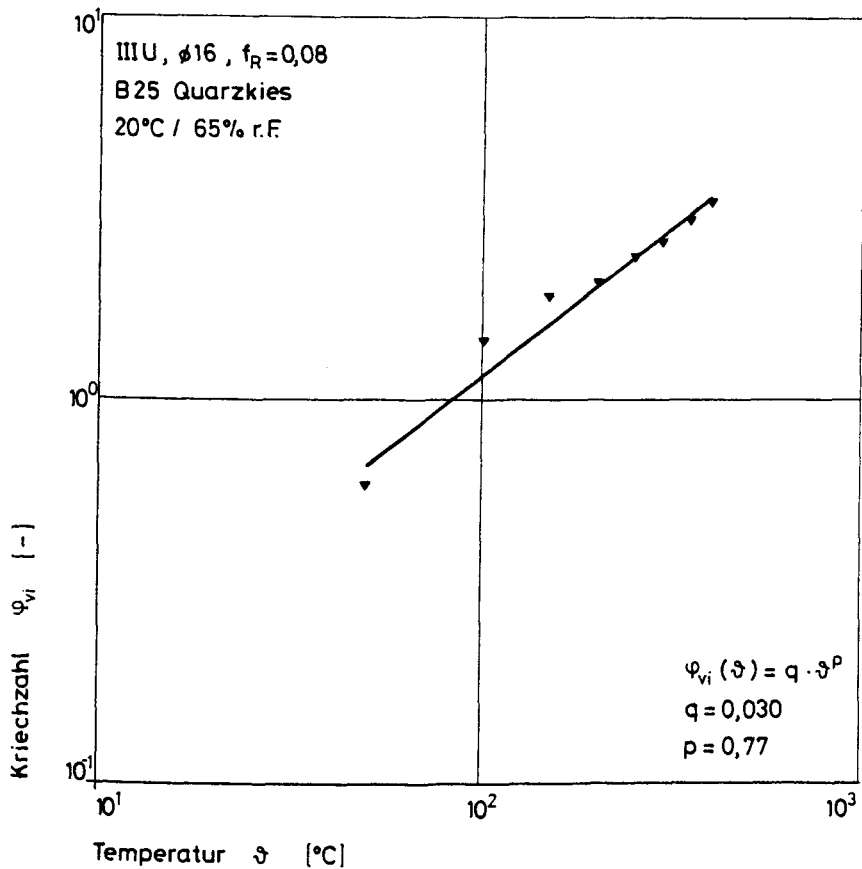
$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$

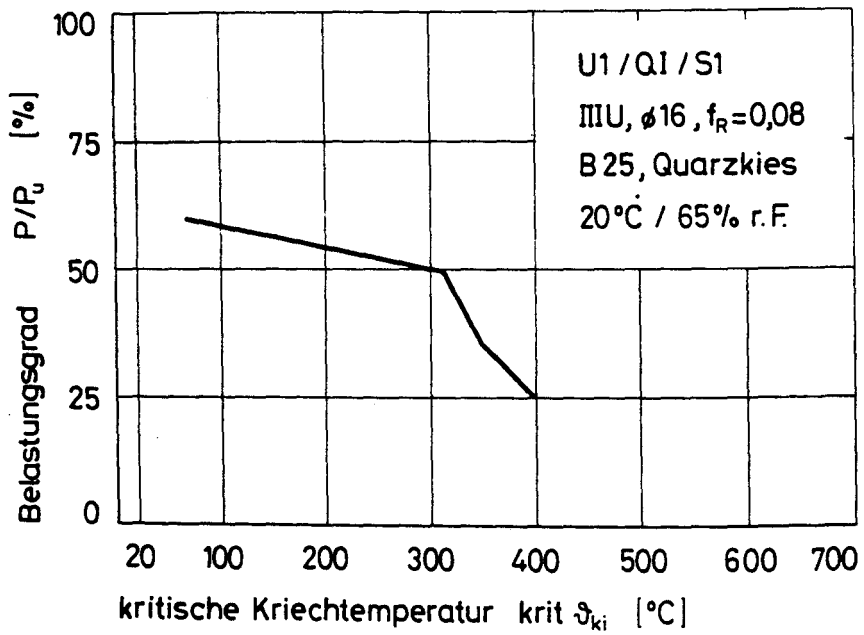


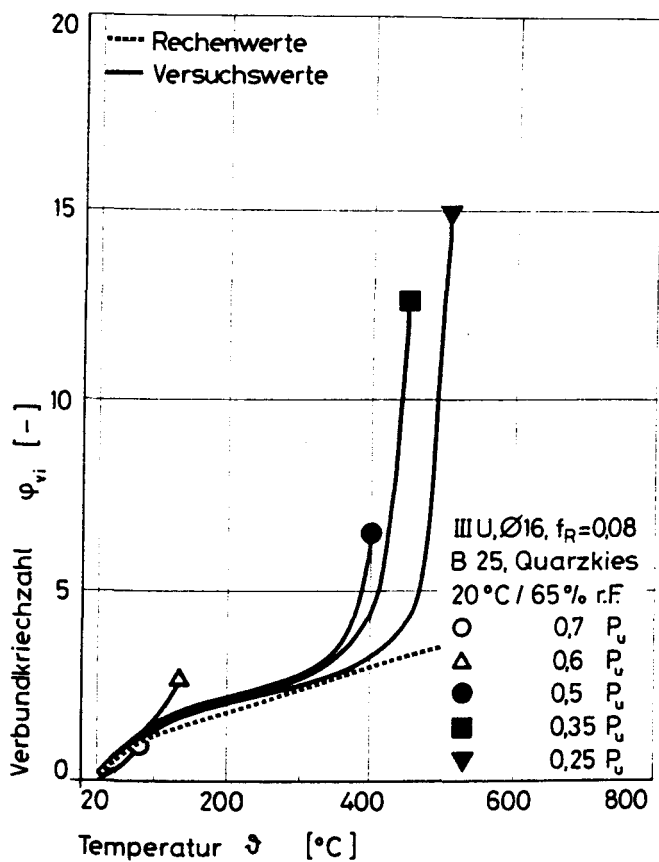
U1/QI/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	1,63	18,03	2,12	1,20
150 °C	0,31	15,88	1,43	1,37
200 °C	0,04	16,18	1,59	1,28
300 °C	0,58	15,31	1,55	1,44
400 °C	0,06	11,32	1,48	1,43
500 °C	0,03	5,80	1,37	1,77
600 °C	0,06	2,97	1,91	1,48
700 °C	0,04	3,12	1,34	2,09

2. Instationäre Kriechversuche









3. Exzentrische Ausziehversuche

***** AE/QI/3D *****

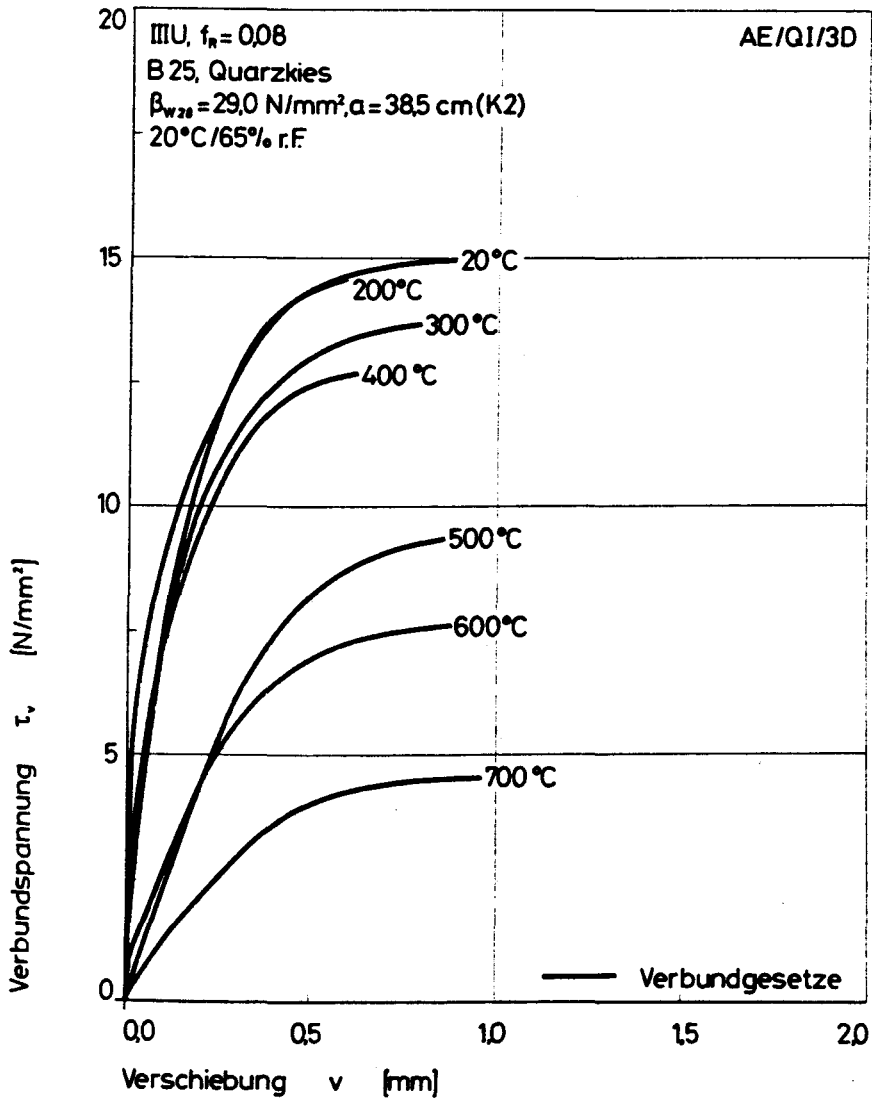
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betondeckung : 3 ds
Beton : B25
Zuschlagsart : Quarzkies
Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
Sieblinie : A16/B16
Koernungsziffer : 3.79
Wasser-Zement-Wert : 0.88
Ausbreitmass : 38.5 cm
Verdichtungsmass : 1.09
Beta-w,28 : 29.0 N/mm**2
Beta-w,VD : 32.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.61 N/mm**2

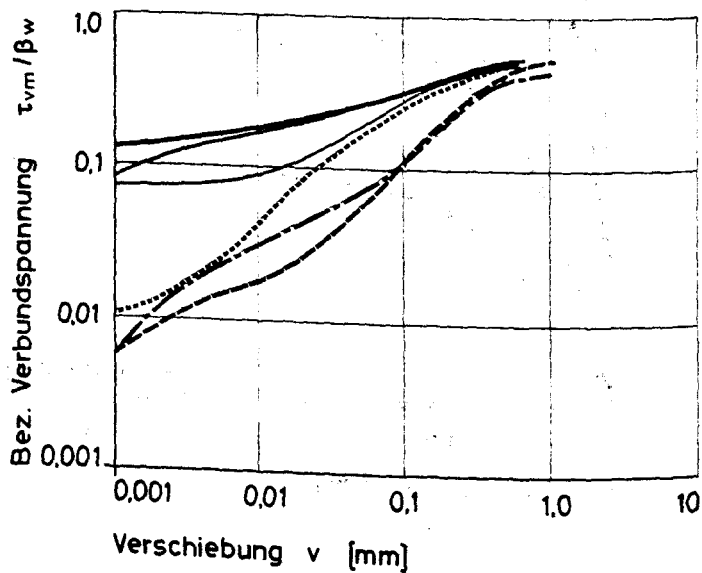
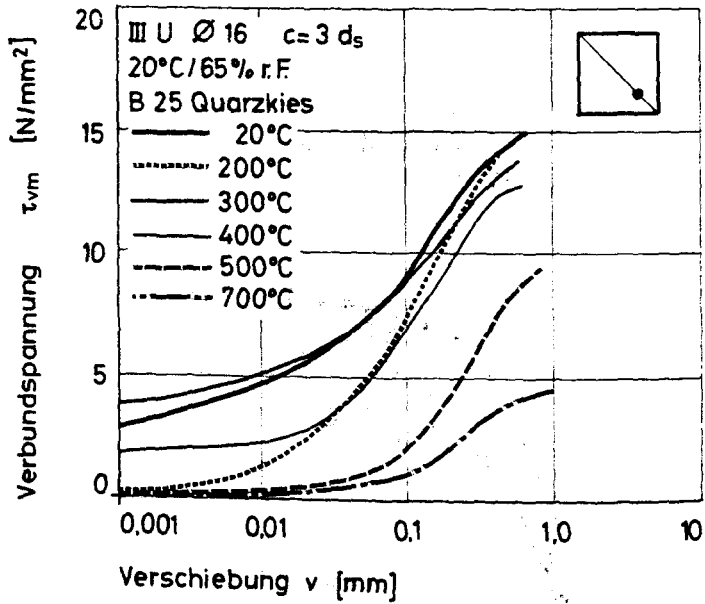
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 8,13,14
150 Grad :
200 Grad : 4,7,11
300 Grad : 5,6
400 Grad : 3,12
500 Grad : 9,10
600 Grad : 2
700 Grad : 1

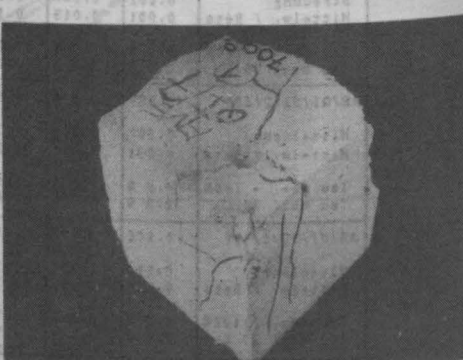
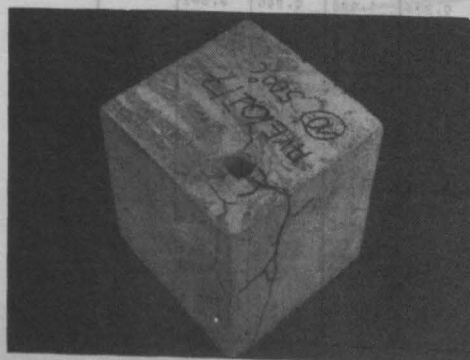
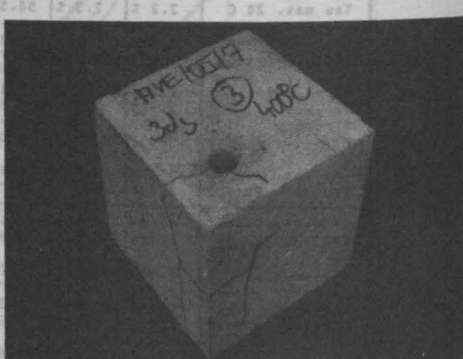
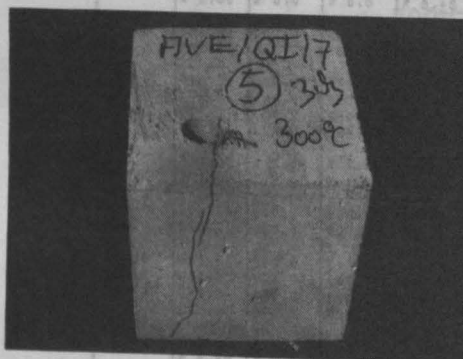
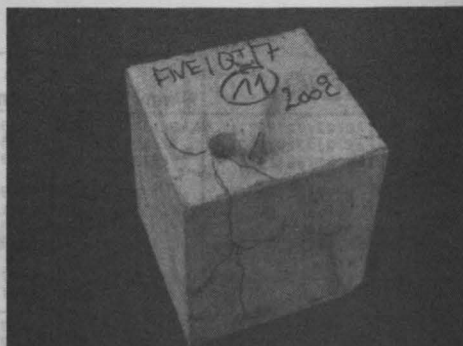
(Datenfile z.B.: AE/QI/3D/8/20)

Bemerkungen:





AE/QI/3D	T_0 N/mm ²	T_{Q01} N/mm ²	T_{Q1} N/mm ²	T_{Q3} N/mm ²	T_{Q5} N/mm ²	T_{Q10} N/mm ²	T_u N/mm ²	V_{max} mm
AE/QI/3D/8/20	3.157	4.376	8.888	12.067	0.000	0.000	14.673	0.892
AE/QI/3D/13/20	1.681	4.553	8.512	12.675	0.000	0.000	15.027	0.851
AE/QI/3D/14/20	0.977	4.355	9.303	13.314	0.000	0.000	15.043	0.863
Mittelwert	1.938	4.631	8.901	12.686	0.000	0.000	14.914	0.869
Varianz	0.829	0.061	0.104	0.253	0.000	0.000	0.029	0.000
Streuung	0.908	0.247	0.323	0.509	0.000	0.000	0.171	0.017
Mittelw. / Beta	0.066	0.157	0.302	0.430	0.000	0.000	0.506	
Tau max. = 100%	13.0 %	31.1 %	59.7 %	83.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	12.9 %	30.7 %	58.1 %	84.2 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
AE/QI/3D/4/200	0.667	2.050	8.535	14.033	0.000	0.000	14.384	0.378
AE/QI/3D/7/200	0.000	0.364	6.319	12.411	0.000	0.000	15.359	0.328
AE/QI/3D/11/200	0.001	0.397	7.730	11.431	0.000	0.000	12.502	0.351
Mittelwert	0.334	1.117	7.528	12.647	0.000	0.000	14.348	0.486
Varianz	0.111	0.490	0.839	1.214	0.000	0.000	1.760	0.006
Streuung	0.339	0.700	0.916	1.102	0.000	0.000	1.326	0.077
Mittelw. / Beta	0.011	0.038	0.258	0.433	0.000	0.000	0.491	
Tau max. = 100%	2.3 %	7.8 %	52.5 %	88.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.2 %	7.5 %	50.5 %	84.8 %	0.0 %	0.0 %	96.2 %	
AE/QI/3D/5/300	2.933	5.571	9.605	13.070	0.000	0.000	13.950	0.482
AE/QI/3D/6/300	0.004	0.036	4.708	9.823	13.137	13.341	13.790	1.132
Mittelwert	1.469	2.803	7.156	11.447	13.137	13.341	13.870	0.807
Varianz	2.145	7.659	5.995	2.636	0.000	0.000	0.006	0.106
Streuung	1.465	2.768	2.449	1.624	0.000	0.000	0.080	0.325
Mittelw. / Beta	0.052	0.100	0.255	0.407	0.468	0.475	0.494	
Tau max. = 100%	10.6 %	20.2 %	51.6 %	82.5 %	94.7 %	96.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	9.8 %	18.8 %	48.0 %	76.8 %	88.1 %	89.5 %	93.0 %	
AE/QI/3D/3/400	0.001	0.502	6.189	10.574	0.000	0.000	12.403	0.604
AE/QI/3D/12/400	0.010	4.509	7.918	11.526	0.000	0.000	12.886	0.663
Mittelwert	0.006	2.505	7.034	11.050	0.000	0.000	12.644	0.639
Varianz	0.000	4.014	0.747	0.227	0.000	0.000	0.038	0.001
Streuung	0.005	2.004	0.865	0.476	0.000	0.000	0.242	0.029
Mittelw. / Beta	0.000	0.101	0.286	0.447	0.000	0.000	0.512	
Tau max. = 100%	0.0 %	19.8 %	55.6 %	87.4 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	16.8 %	47.3 %	74.1 %	0.0 %	0.0 %	84.8 %	
AE/QI/3D/9/500	-0.002	0.213	2.008	6.000	0.000	0.000	9.270	0.830
AE/QI/3D/10/500	0.013	0.507	2.180	5.222	0.000	0.000	9.294	0.909
Mittelwert	0.011	0.360	2.034	5.111	0.000	0.000	9.282	0.869
Varianz	0.000	0.022	0.007	0.012	0.000	0.000	0.000	0.002
Streuung	0.002	0.147	0.086	0.111	0.000	0.000	0.012	0.039
Mittelw. / Beta	0.001	0.019	0.113	0.230	0.000	0.000	0.502	
Tau max. = 100%	0.1 %	3.9 %	22.6 %	55.2 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.1 %	2.4 %	14.0 %	41.0 %	0.0 %	0.0 %	62.2 %	
AE/QI/3D/2/600	0.367	0.848	2.508	5.535	0.000	0.000	7.579	0.881
Mittelwert	0.367	0.848	2.508	5.535	0.000	0.000	7.579	0.881
Mittelw. / Beta	0.031	0.072	0.214	0.473	0.000	0.000	0.648	
Tau max. = 100%	4.8 %	11.2 %	33.1 %	73.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.5 %	5.7 %	18.8 %	37.1 %	0.0 %	0.0 %	50.8 %	
AE/QI/3D/1/700	0.000	0.307	1.114	2.852	4.489	0.000	4.504	0.973
Mittelwert	0.000	0.307	1.114	2.852	4.489	0.000	4.504	0.973
Mittelw. / Beta	0.000	0.032	0.115	0.296	0.468	0.000	0.469	
Tau max. = 100%	0.0 %	6.8 %	24.7 %	63.5 %	99.7 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	2.1 %	7.5 %	19.2 %	30.1 %	0.0 %	30.2 %	



***** AE/QI/2D *****

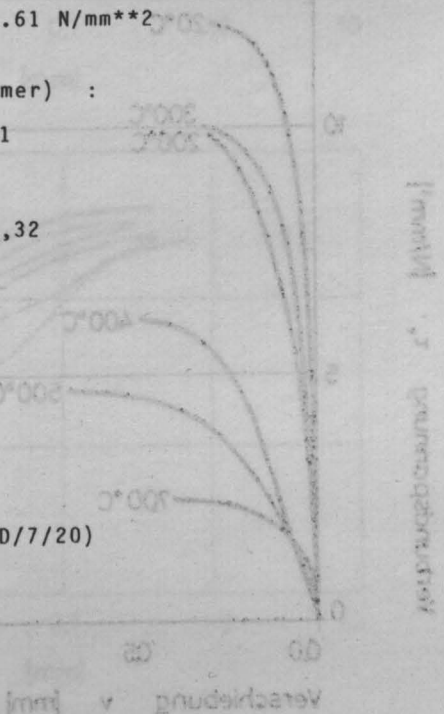
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betondeckung : 2 ds
 Beton : B25
 Zuschlagsart : Quarzkies
 Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.79
 Wasser-Zement-Wert : 0.88
 Ausbreitmass : 38.5 cm
 Verdichtungsmass : 1.09
 Beta-w,28 : 29.0 N/mm**2
 Beta-w,VD : 32.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.61 N/mm**2

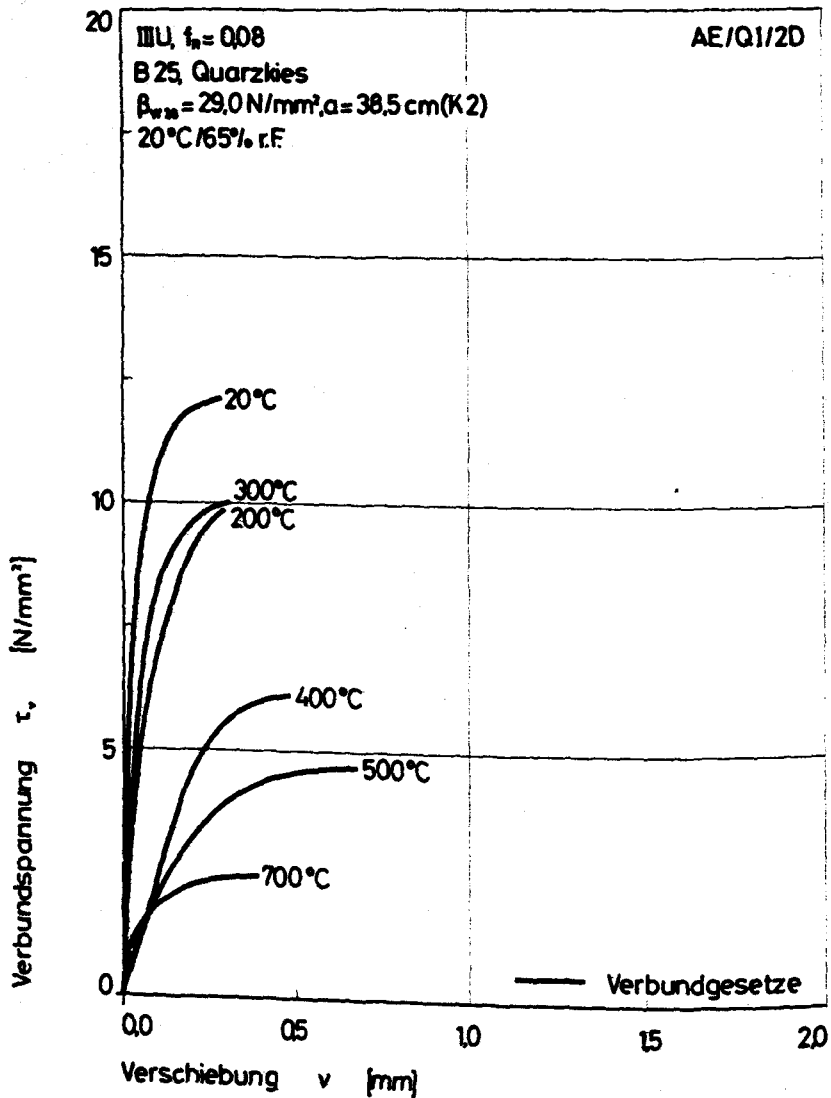
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

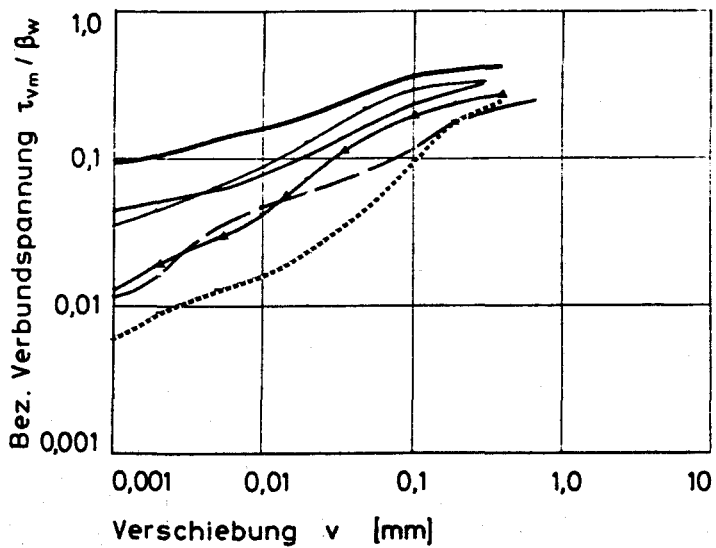
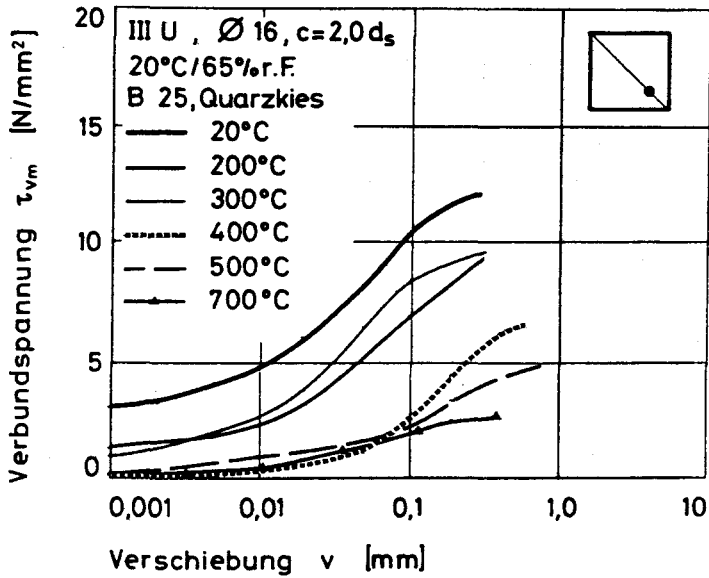
20 Grad : 4,6,7,24,27,31
 150 Grad :
 200 Grad : 9,10,12,22,28,32
 300 Grad : 1,5,26
 400 Grad : 21,30
 500 Grad : 3,11,25,29
 600 Grad :
 700 Grad : 2,8

(Datenfile z.B.: AE/QI/2D/7/20)

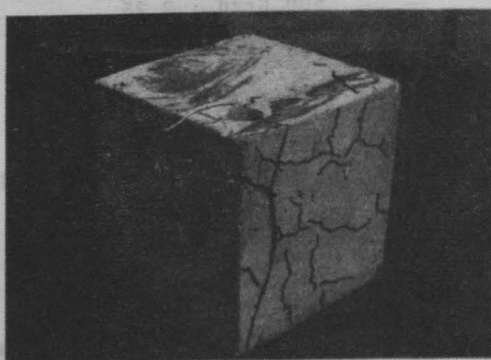
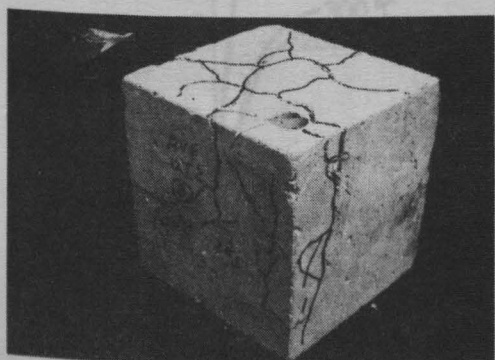
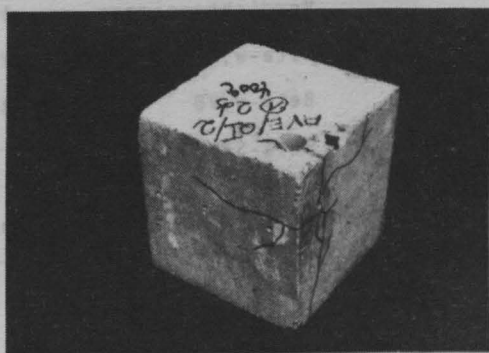
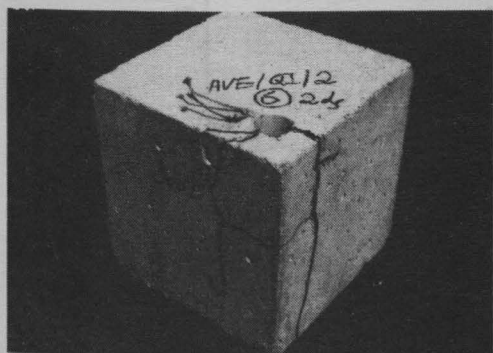
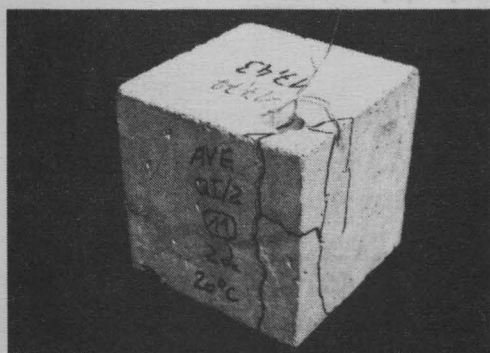
Bemerkungen:







AE/QI/2D	τ_0 N/mm ²	τ_{q01} N/mm ²	τ_{q1} N/mm ²	τ_{q3} N/mm ²	τ_{q5} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
AE/QI/2D/4/20	3.969	5.763	11.008	0.000	0.000	0.000	12.004	0.254
AE/QI/2D/6/20	3.213	4.106	5.700	12.099	0.000	0.000	12.383	0.478
AE/QI/2D/7/20	2.514	4.735	11.160	12.658	0.000	0.000	12.668	0.357
AE/QI/2D/24/20	3.204	4.348	10.728	0.000	0.000	0.000	11.597	0.271
AE/QI/2D/27/20	3.970	6.306	11.385	0.000	0.000	0.000	12.878	0.246
AE/QI/2D/31/20	3.709	6.709	0.000	0.000	0.000	0.000	11.419	0.078
Mittelwert	3.431	5.395	10.536	12.378	0.000	0.000	12.158	0.281
Varianz	0.266	0.383	0.345	0.073	0.000	0.000	0.286	0.015
Streuung	0.516	0.693	0.972	0.280	0.000	0.000	0.534	0.121
Mittelw. / Beta	0.116	0.183	0.353	0.420	0.000	0.000	0.412	
Tau max. = 100%	28.2 %	44.4 %	87.2 %	101 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	27.9 %	43.9 %	86.3 %	100 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
AE/QI/2D/9/200	2.986	5.076	10.471	0.000	0.000	0.000	10.810	0.200
AE/QI/2D/10/200	0.399	2.413	9.849	0.000	0.000	0.000	10.925	0.235
AE/QI/2D/12/200	1.710	2.954	7.789	10.751	0.000	0.000	10.791	0.367
AE/QI/2D/32/200	0.002	0.374	2.373	3.700	0.000	0.000	9.291	0.390
AE/QI/2D/22/200	0.001	2.208	6.822	0.000	0.000	0.000	8.525	0.221
AE/QI/2D/28/200	0.002	1.116	4.107	3.446	0.000	0.000	9.535	0.387
Mittelwert	0.850	2.357	6.985	3.633	0.000	0.000	9.980	0.300
Varianz	1.277	2.208	7.695	0.718	0.000	0.000	0.838	0.007
Streuung	1.130	1.486	2.774	0.848	0.000	0.000	0.916	0.082
Mittelw. / Beta	0.029	0.081	0.239	0.330	0.000	0.000	0.342	
Tau max. = 100%	8.5 %	23.6 %	70.0 %	96.5 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	7.0 %	13.4 %	57.5 %	79.2 %	0.0 %	0.0 %	82.1 %	
AE/QI/2D/1/300	1.454	3.830	8.946	0.000	0.000	0.000	10.348	0.301
AE/QI/2D/5/300	0.303	1.161	7.947	9.960	0.000	0.000	10.005	0.340
AE/QI/2D/26/300	-0.004	2.101	8.169	0.000	0.000	0.000	9.578	0.276
Mittelwert	0.877	2.384	8.352	3.960	0.000	0.000	9.377	0.306
Varianz	0.331	1.281	0.184	0.000	0.000	0.000	0.099	0.001
Streuung	0.576	1.132	0.429	0.000	0.000	0.000	0.315	0.026
Mittelw. / Beta	0.031	0.085	0.297	0.354	0.000	0.000	0.355	
Tau max. = 100%	8.8 %	23.9 %	83.7 %	39.8 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	7.2 %	19.6 %	68.7 %	81.9 %	0.0 %	0.0 %	82.1 %	
AE/QI/2D/21/400	0.110	0.404	2.220	5.372	0.000	0.000	5.874	0.503
AE/QI/2D/30/400	-0.001	0.390	2.575	5.912	0.000	0.000	6.324	0.449
Mittelwert	0.109	0.397	2.397	5.642	0.000	0.000	6.099	0.476
Varianz	0.000	0.000	0.032	0.073	0.000	0.000	0.051	0.001
Streuung	0.001	0.007	0.178	0.270	0.000	0.000	0.225	0.027
Mittelw. / Beta	0.004	0.016	0.097	0.228	0.000	0.000	0.247	
Tau max. = 100%	1.8 %	5.5 %	39.3 %	32.5 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.2 %	3.3 %	19.7 %	46.4 %	0.0 %	0.0 %	50.2 %	
AE/QI/2D/3/500	1.233	1.642	3.253	4.738	0.000	0.000	5.065	0.481
AE/QI/2D/11/500	0.401	0.757	2.639	5.785	0.000	0.000	6.610	0.547
AE/QI/2D/25/500	0.138	0.558	1.278	2.682	0.000	0.000	3.647	0.708
AE/QI/2D/29/500	-0.003	0.516	1.367	2.613	3.284	0.000	3.289	0.812
Mittelwert	0.590	0.868	2.147	3.363	3.284	0.000	4.653	0.637
Varianz	0.218	0.208	0.720	1.870	0.000	0.000	1.718	0.017
Streuung	0.467	0.456	0.849	1.367	0.000	0.000	1.911	0.130
Mittelw. / Beta	0.032	0.047	0.116	0.215	0.178	0.000	0.251	
Tau max. = 100%	12.7 %	18.7 %	46.1 %	85.3 %	70.6 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	4.8 %	7.1 %	17.7 %	32.6 %	27.0 %	0.0 %	38.3 %	
AE/QI/2D/2/700	0.124	0.426	2.290	0.000	0.000	0.000	3.026	0.263
AE/QI/2D/8/700	-0.001	0.401	1.280	1.384	0.000	0.000	1.990	0.496
Mittelwert	0.123	0.414	1.735	1.884	0.000	0.000	2.508	0.382
Varianz	0.000	0.000	0.255	0.003	0.000	0.000	0.268	0.013
Streuung	0.001	0.013	0.505	0.000	0.000	0.000	0.518	0.113
Mittelw. / Beta	0.013	0.042	0.136	0.136	0.000	0.000	0.261	
Tau max. = 100%	4.9 %	16.5 %	71.2 %	75.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.0 %	3.4 %	14.7 %	15.5 %	0.0 %	0.0 %	20.6 %	



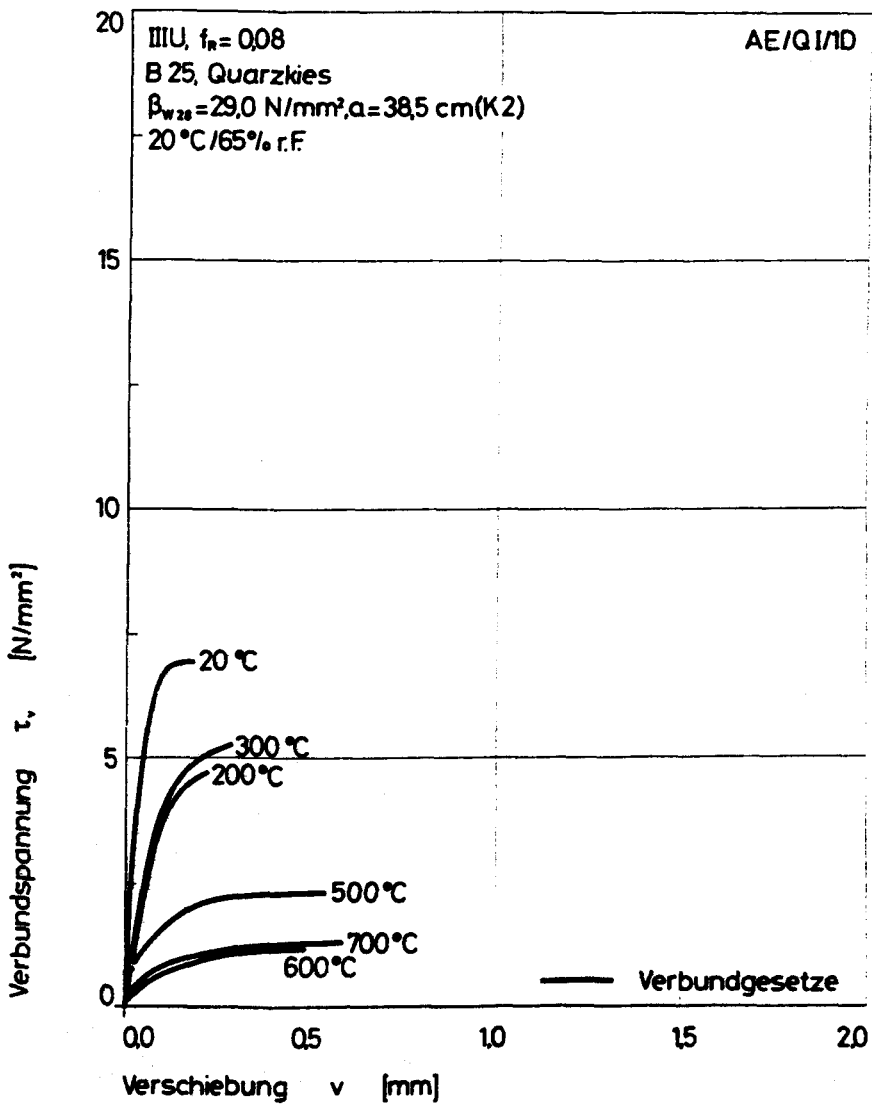
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betondeckung : 1 ds
Beton : B25
Zuschlagsart : Quarzkies
Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
Sieblinie : A16/B16
Koernungsziffer : 3.79
Wasser-Zement-Wert : 0.88
Ausbreitmass : 38.5 cm
Verdichtungsmass : 1.09
Beta-w,28 : 29.0 N/mm**2
Beta-w,VD : 32.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.61 N/mm**2

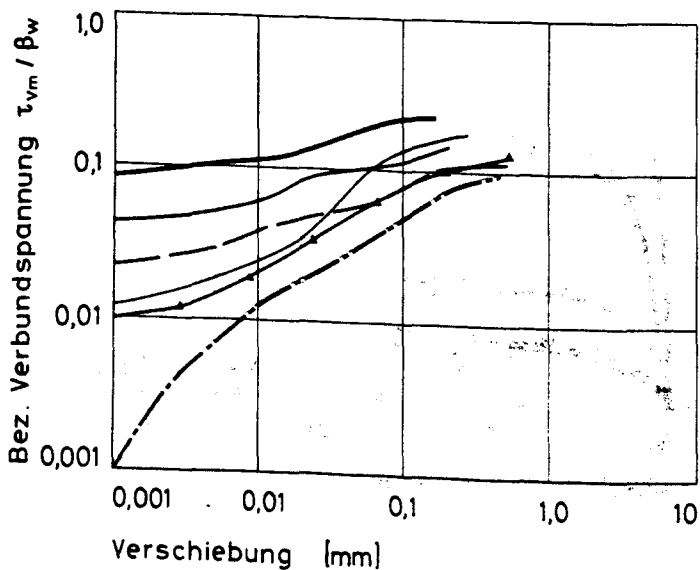
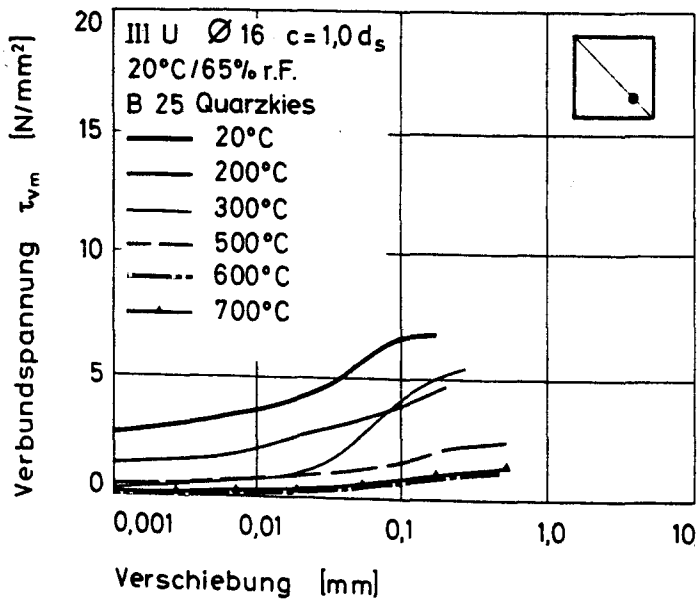
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 7,24
150 Grad :
200 Grad : 6,23,27
300 Grad : 3,5,26
400 Grad :
500 Grad : 2,25
600 Grad : 21
700 Grad : 4

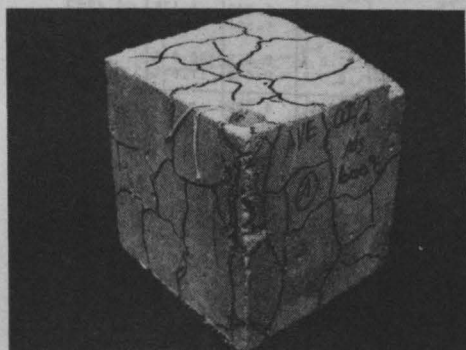
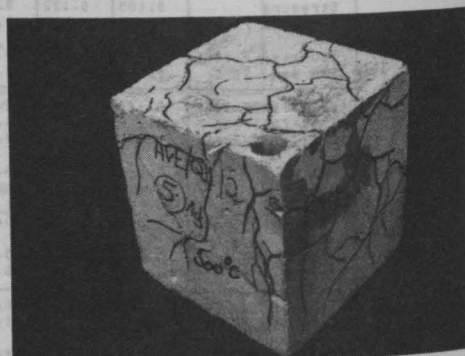
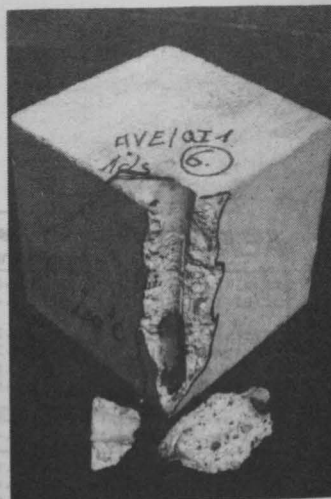
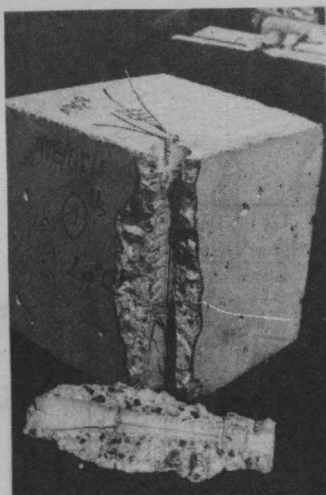
(Datenfile z.B.: AE/QI/1D/7/20)

Bemerkungen:





AE/QI/1D	T_0 N/mm ²	T_{Q01} N/mm ²	T_{Q1} N/mm ²	T_{Q2} N/mm ²	T_{Q3} N/mm ²	T_{Q4} N/mm ²	T_{Q5} N/mm ²	V_{max} mm
AE/QI/1D/24/20	2.419	4.077	6.335	0.000	0.000	0.000	6.341	0.179
AE/QI/1D/7/20	0.001	0.452	7.052	0.000	0.000	0.000	7.486	0.193
Mittelwert	1.210	2.265	5.693	0.000	0.000	0.000	6.913	0.186
Varianz	1.462	3.283	0.129	0.000	0.000	0.000	0.328	0.000
Streuung	1.209	1.813	0.359	0.000	0.000	0.000	0.573	0.007
Mittelw. / Beta	0.041	0.077	0.227	0.000	0.000	0.000	0.234	
Tau max. = 100%	17.3 %	32.8 %	36.8 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	17.3 %	32.4 %	35.9 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
AE/QI/1D/23/200	0.129	0.356	4.137	0.000	0.000	0.000	4.528	0.168
AE/QI/1D/27/200	0.258	0.486	4.133	0.000	0.000	0.000	5.431	0.218
AE/QI/1D/6/200	0.002	0.653	3.122	0.000	0.000	0.000	3.664	0.282
Mittelwert	0.130	0.499	3.797	0.000	0.000	0.000	4.541	0.223
Varianz	0.011	0.015	0.228	0.000	0.000	0.000	0.520	0.002
Streuung	0.105	0.122	0.478	0.000	0.000	0.000	0.721	0.047
Mittelw. / Beta	0.094	0.017	0.130	0.000	0.000	0.000	0.156	
Tau max. = 100%	2.9 %	11.0 %	83.6 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.9 %	7.2 %	54.3 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	65.7 %	
AE/QI/1D/26/300	0.105	0.371	2.438	4.546	0.000	0.000	4.559	0.313
AE/QI/1D/3/300	0.123	0.367	4.924	3.000	0.000	0.000	5.816	0.260
AE/QI/1D/5/300	0.600	1.263	4.382	0.000	0.000	0.000	5.334	0.269
Mittelwert	0.276	0.647	3.935	4.546	0.000	0.000	5.237	0.281
Varianz	0.053	0.130	1.081	0.000	0.000	0.000	0.268	0.001
Streuung	0.229	0.436	1.040	0.000	0.000	0.000	0.518	0.023
Mittelw. / Beta	0.010	0.023	0.140	0.162	0.000	0.000	0.186	
Tau max. = 100%	5.3 %	12.4 %	75.1 %	86.8 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	4.0 %	3.4 %	56.9 %	65.8 %	0.0 %	0.0 %	75.7 %	
AE/QI/1D/25/500	-0.001	0.513	1.312	2.244	0.000	0.000	2.354	0.511
AE/QI/1D/2/500	-0.002	0.343	1.639	2.201	0.000	0.000	2.228	0.580
Mittelwert	-0.004	0.731	1.475	2.222	0.000	0.000	2.291	0.545
Varianz	0.000	0.047	0.027	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001
Streuung	0.000	0.218	0.164	0.022	0.000	0.000	0.063	0.035
Mittelw. / Beta	-0.000	0.033	0.080	0.120	0.000	0.000	0.124	
Tau max. = 100%	-0.2 %	31.9 %	64.4 %	97.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.1 %	10.6 %	21.3 %	32.1 %	0.0 %	0.0 %	33.1 %	
AE/QI/1D/21/600	0.001	0.131	0.578	1.116	0.000	0.000	1.176	0.499
Mittelwert	0.001	0.131	0.578	1.116	0.000	0.000	1.176	0.499
Mittelw. / Beta	0.000	0.011	0.049	0.035	0.000	0.000	0.100	
Tau max. = 100%	0.1 %	11.2 %	49.2 %	94.3 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.9 %	8.4 %	16.1 %	0.0 %	0.0 %	17.0 %	
AE/QI/1D/4/700	0.095	0.222	0.743	1.166	0.000	0.000	1.277	0.589
Mittelwert	0.095	0.222	0.743	1.166	0.000	0.000	1.277	0.589
Mittelw. / Beta	0.010	0.023	0.073	0.121	0.000	0.000	0.123	
Tau max. = 100%	7.4 %	17.4 %	58.6 %	91.3 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.4 %	3.2 %	10.8 %	16.3 %	0.0 %	0.0 %	18.5 %	



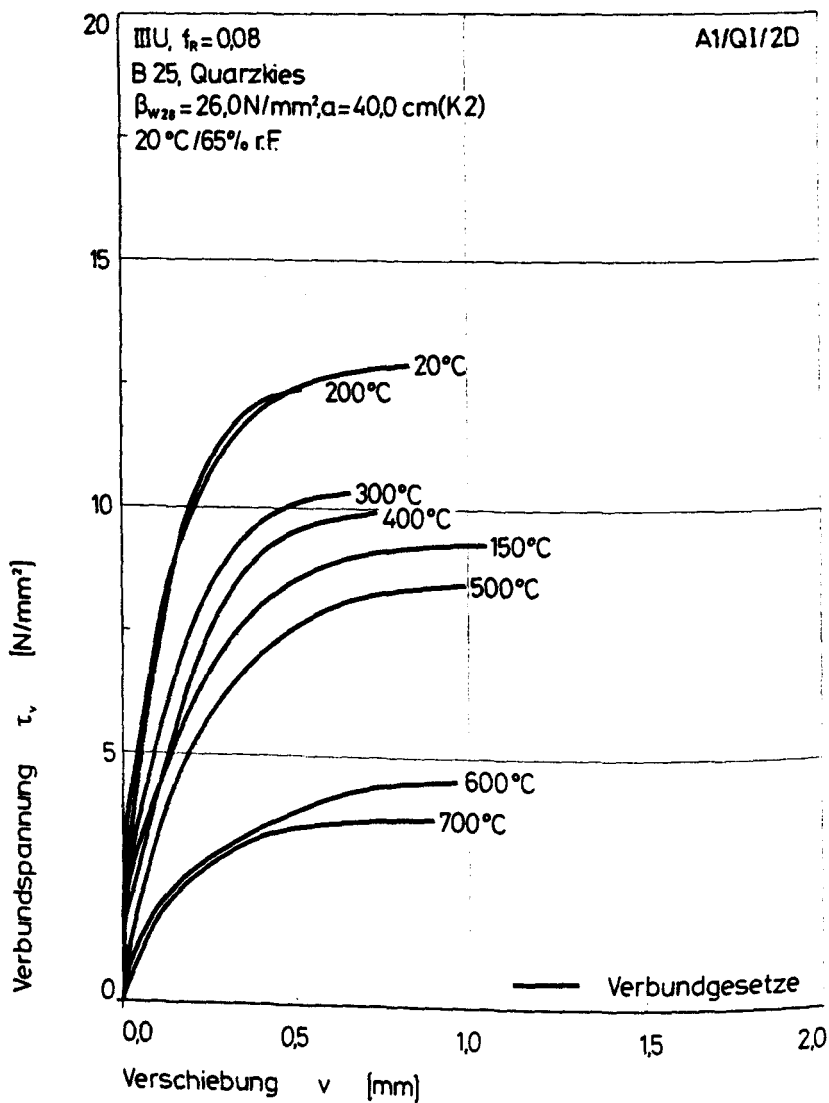
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betondeckung : 2 ds
 Beton : B25
 Zuschlagsart : Quarzkies
 Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
 Sieblinie : B16
 Koernungsziffer : 3.92
 Wasser-Zement-Wert : 0.87
 Ausbreitmass : 40.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.06
 Beta-w,28 : 26.0 N/mm**2
 Beta-w,VD : 30.5 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.34 N/mm**2

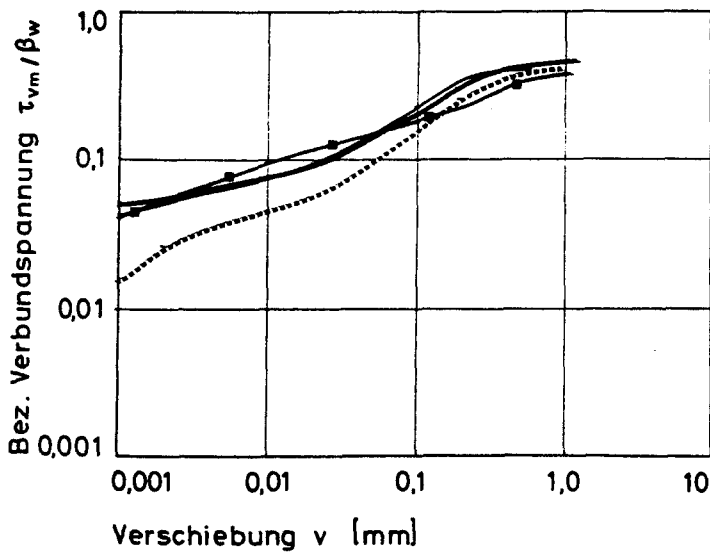
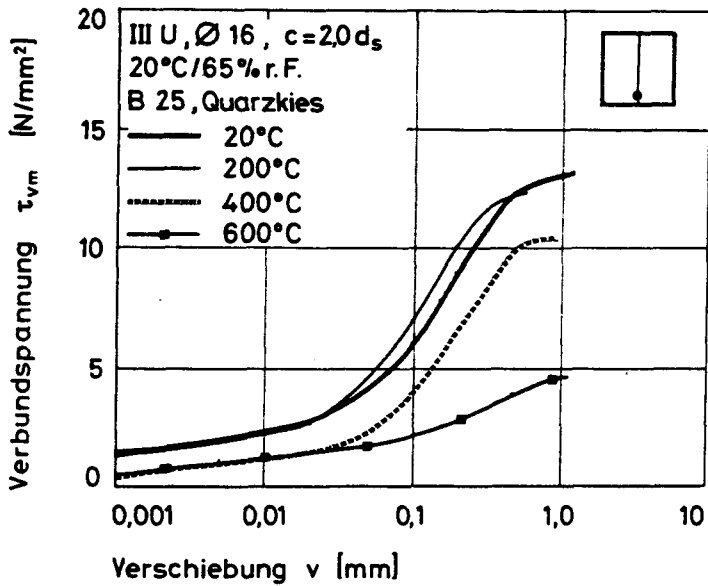
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 3,5,7,21,22
 150 Grad : 12,13,14
 200 Grad : 24,26
 300 Grad : 1,4,8
 400 Grad : 2,23,27
 500 Grad : 9,10
 600 Grad : 25
 700 Grad : 6,11

(Datenfile z.B.: A1/QI/2D/5/20)

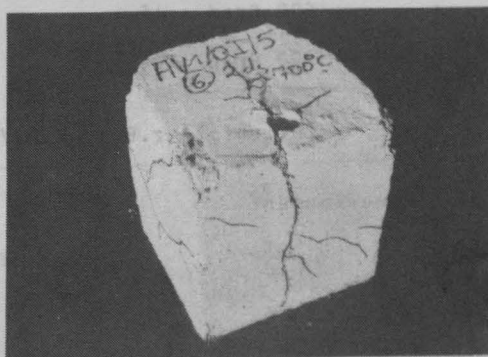
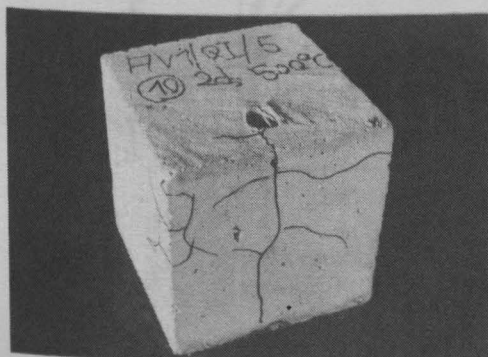
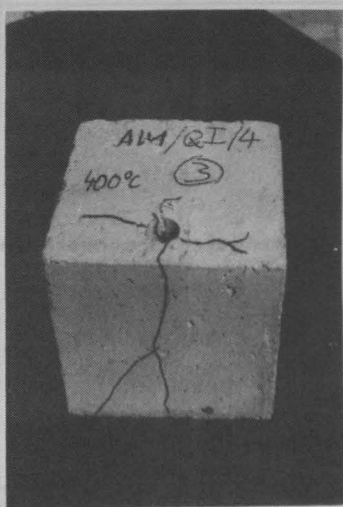
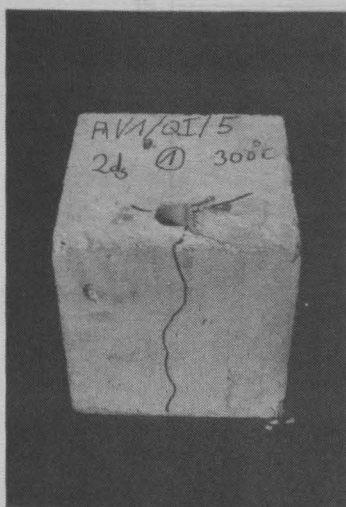
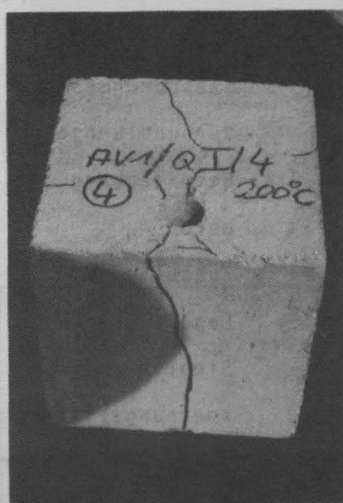
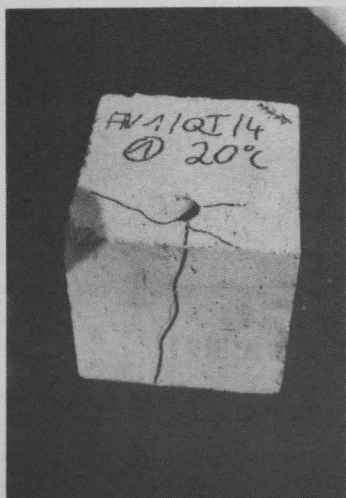
Bemerkungen:





A1/Q1/2D

	T_0 N/mm ²	T_{001} N/mm ²	T_{01} N/mm ²	T_{03} N/mm ²	T_{09} N/mm ²	T_{10} N/mm ²	T_U N/mm ²	v_{max} mm
A1/Q1/2D/21/20	1.081	1.081	6.615	11.054	19.235	0.000	13.232	1.006
A1/Q1/2D/22/20	2.100	2.065	8.369	11.700	6.000	0.000	13.560	0.635
A1/Q1/2D/3/20	1.935	2.003	7.055	11.053	0.000	0.000	13.370	0.970
A1/Q1/2D/5/20	1.924	2.435	7.767	11.111	0.000	0.000	12.421	0.379
A1/Q1/2D/7/20	1.923	2.420	7.111	9.955	0.000	0.000	11.838	0.861
Mittelwert	1.468	2.334	7.427	11.117	15.235	0.000	12.935	0.650
Varianz	0.155	0.238	1.471	1.753	0.000	0.000	0.433	0.014
Streuung	0.394	0.434	1.387	1.324	0.000	0.000	0.658	0.120
Mittelw. / Beta	0.068	0.119	0.301	0.453	0.536	0.000	0.522	
Tau max. = 100%	12.9 %	22.5 %	57.6 %	85.2 %	100 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	12.9 %	22.5 %	57.6 %	85.4 %	101 %	0.0 %	99.0 %	
A1/Q1/2D/12/150	1.163	2.306	4.922	7.305	8.887	8.975	8.983	1.191
A1/Q1/2D/13/150	0.046	0.646	3.573	6.334	8.824	0.000	8.349	0.953
A1/Q1/2D/14/150	1.162	2.313	4.040	7.453	8.926	0.000	3.934	1.030
Mittelwert	0.977	1.721	4.178	7.057	8.246	8.326	8.303	1.058
Varianz	0.435	0.550	0.313	0.357	0.331	0.000	1.235	0.010
Streuung	0.676	0.742	0.559	0.593	0.481	0.000	0.435	0.099
Mittelw. / Beta	0.059	0.070	0.170	0.235	0.375	0.363	0.379	
Tau max. = 100%	10.2 %	13.5 %	44.9 %	77.8 %	89.3 %	95.9 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	7.4 %	12.3 %	32.4 %	56.3 %	71.7 %	69.2 %	72.2 %	
A1/Q1/2D/24/200	0.556	1.801	7.293	11.405	0.000	0.000	12.107	0.471
A1/Q1/2D/26/200	1.728	2.327	6.755	11.455	0.000	0.000	12.716	0.559
Mittelwert	1.142	2.154	7.053	11.435	0.000	0.000	12.412	0.515
Varianz	0.345	0.154	0.099	0.001	0.000	0.000	0.093	0.002
Streuung	0.586	0.393	0.314	0.000	0.000	0.000	0.305	0.044
Mittelw. / Beta	0.047	0.030	0.289	0.457	0.000	0.000	0.507	
Tau max. = 100%	9.2 %	17.7 %	57.0 %	82.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	8.9 %	17.0 %	54.8 %	82.7 %	0.0 %	0.0 %	96.2 %	
A1/Q1/2D/1/300	0.194	1.871	4.442	8.047	0.000	0.000	10.122	0.713
A1/Q1/2D/4/300	1.727	2.564	5.490	8.903	0.000	0.000	9.884	0.583
A1/Q1/2D/8/300	1.477	2.305	6.162	9.599	0.000	0.000	10.869	0.717
Mittelwert	1.133	2.415	5.313	8.877	0.000	0.000	10.295	0.671
Varianz	0.451	0.157	0.355	0.445	0.000	0.000	0.175	0.004
Streuung	0.672	0.396	0.745	0.667	0.000	0.000	0.418	0.062
Mittelw. / Beta	0.045	0.102	0.225	0.375	0.000	0.000	0.436	
Tau max. = 100%	11.0 %	23.4 %	51.6 %	85.2 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	8.8 %	18.7 %	41.2 %	68.8 %	0.0 %	0.0 %	79.8 %	
A1/Q1/2D/23/400	0.291	1.294	4.431	8.553	0.000	0.000	10.368	0.811
A1/Q1/2D/27/400	0.285	0.886	3.504	7.353	0.000	0.000	3.497	0.613
A1/Q1/2D/2/400	0.373	1.947	4.476	7.800	0.000	0.000	3.168	0.838
Mittelwert	0.498	1.389	4.137	8.105	0.000	0.000	9.878	0.754
Varianz	0.116	0.165	0.201	0.153	0.000	0.000	0.512	0.010
Streuung	0.340	0.407	0.440	0.392	0.000	0.000	0.723	0.100
Mittelw. / Beta	0.024	0.067	0.200	0.382	0.000	0.000	0.477	
Tau max. = 100%	5.0 %	14.1 %	41.9 %	82.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	3.9 %	10.8 %	32.1 %	62.3 %	0.0 %	0.0 %	76.6 %	
A1/Q1/2D/9/500	0.375	1.453	3.328	5.162	8.590	8.751	3.776	1.129
A1/Q1/2D/10/500	0.610	1.333	3.344	5.377	0.000	0.000	8.165	0.892
Mittelwert	0.494	1.425	3.536	5.279	3.694	3.751	8.471	1.019
Varianz	0.013	0.001	0.067	0.010	0.000	0.000	0.093	0.014
Streuung	0.116	0.039	0.258	0.038	0.000	0.000	0.305	0.119
Mittelw. / Beta	0.032	0.082	0.231	0.405	0.561	0.563	0.547	
Tau max. = 100%	5.8 %	16.8 %	42.9 %	74.1 %	102 %	103 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	3.8 %	11.1 %	27.9 %	48.7 %	57.4 %	67.3 %	65.7 %	
A1/Q1/2D/25/600	0.413	1.135	2.070	3.159	4.535	0.000	4.538	0.975
Mittelwert	0.413	1.135	2.070	3.159	4.535	0.000	4.538	0.975
Mittelw. / Beta	0.047	0.116	0.211	0.327	0.453	0.000	0.453	
Tau max. = 100%	9.1 %	25.0 %	45.6 %	63.5 %	85.9 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	9.2 %	25.0 %	45.6 %	63.5 %	85.9 %	0.0 %	95.2 %	
A1/Q1/2D/6/700	0.029	0.457	1.565	3.050	0.000	0.000	3.997	0.716
A1/Q1/2D/11/700	0.022	0.402	2.143	3.245	4.142	4.156	4.162	1.103
Mittelwert	0.025	0.455	1.854	3.046	4.142	4.156	3.730	0.909
Varianz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.146	0.037
Streuung	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.383	0.195
Mittelw. / Beta	0.003	0.060	0.261	0.375	0.311	0.512	0.467	
Tau max. = 100%	0.7 %	12.9 %	45.4 %	60.6 %	103 %	103 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	0.7 %	12.9 %	45.4 %	60.6 %	103 %	103 %	99.3 %	



***** A1/QI/1D *****

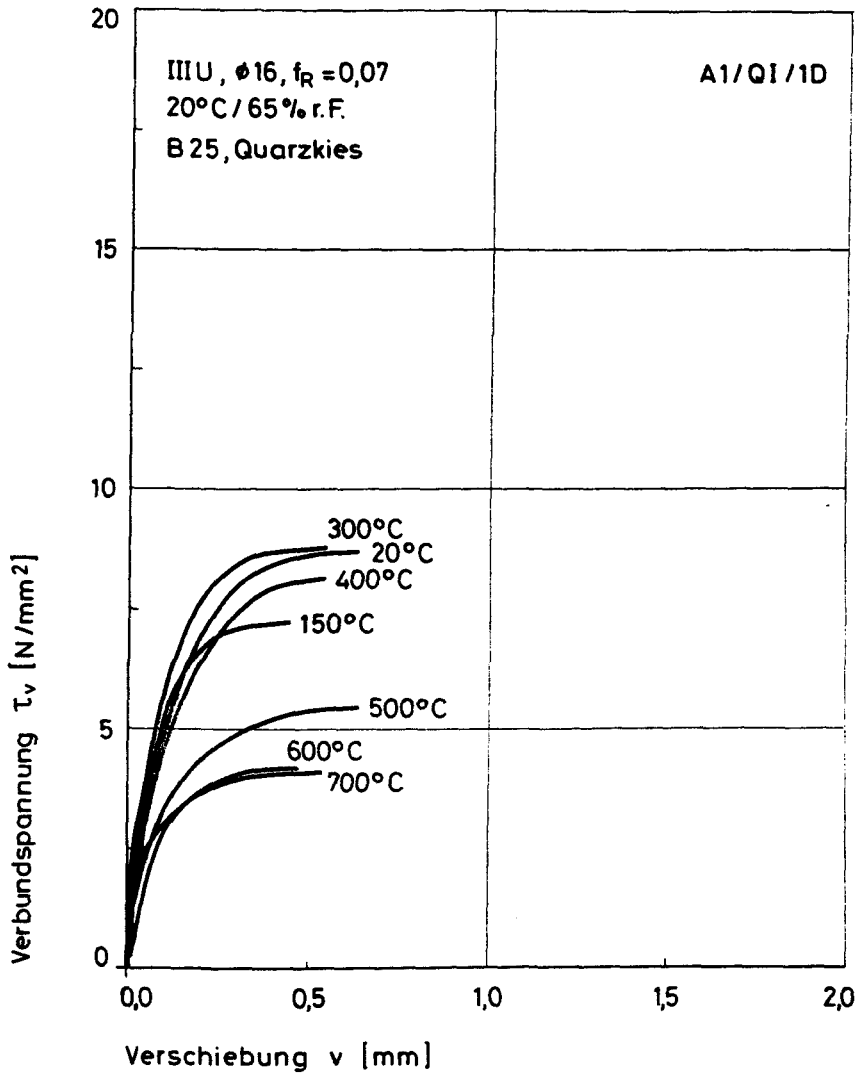
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betondeckung : 1 ds
Beton : B25
Zuschlagsart : Quarzkies
Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
Sieblinie : B16
Koernungsziffer : 3.82
Wasser-Zement-Wert : 0.87
Ausbreitmass : 40.0 cm
Verdichtungsmass : 1.06
Beta-w,28 : 26.0 N/mm**2
Beta-w,VD : 30.5 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.34 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

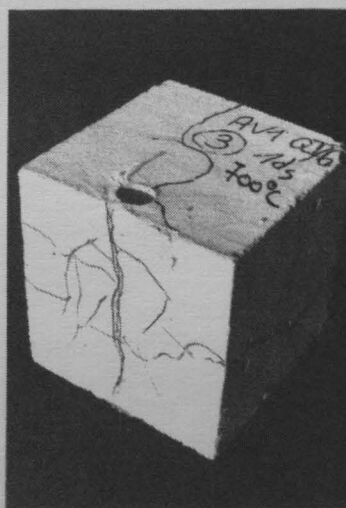
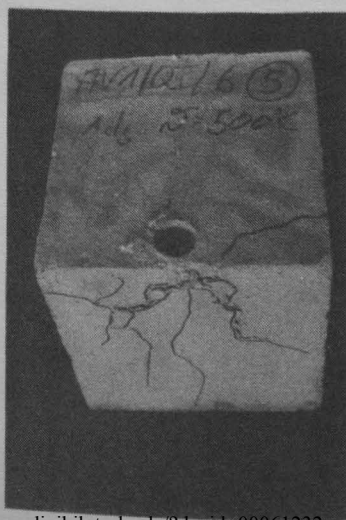
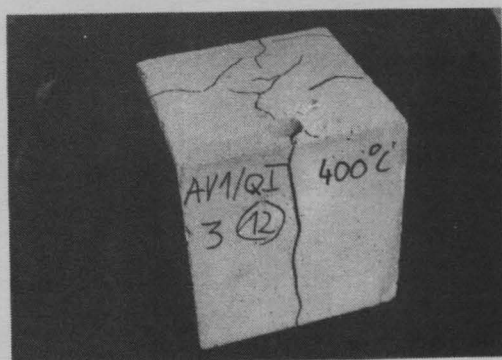
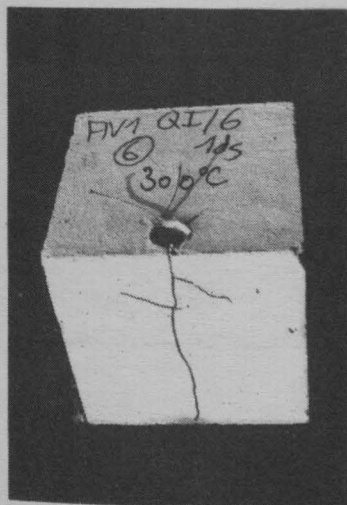
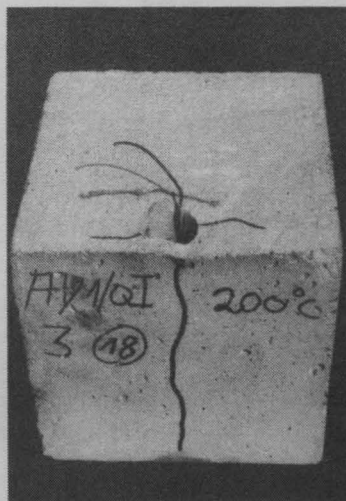
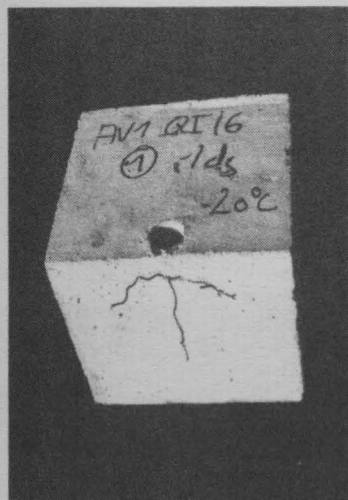
20 Grad : 1,14,17
150 Grad : 7
200 Grad : 13,18
300 Grad : 4,6
400 Grad : 12,16
500 Grad : 5
600 Grad : 15
700 Grad : 2,3

(Datenfile z.B.: A1/QI/2D/14/20)

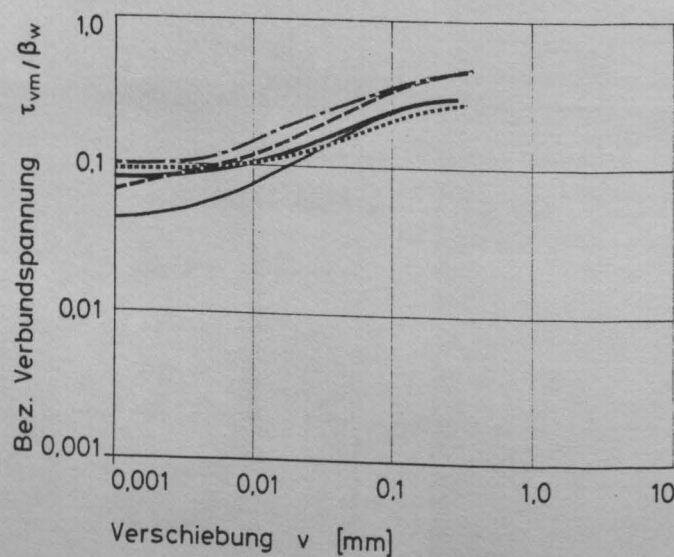
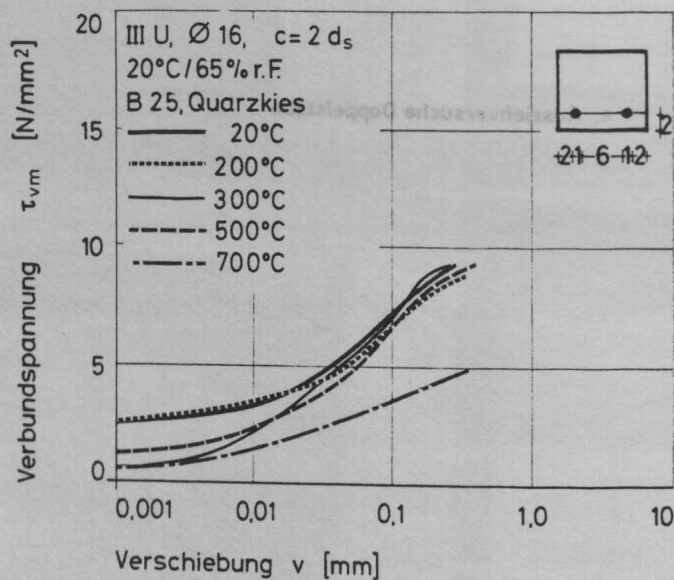
Bemerkungen:

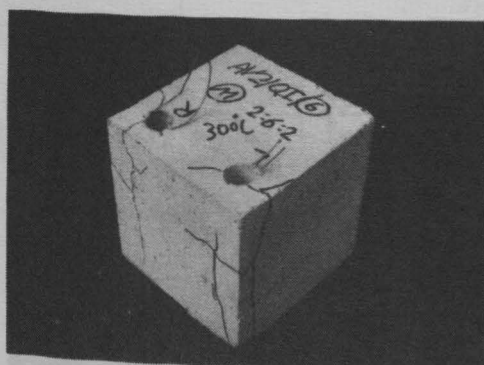
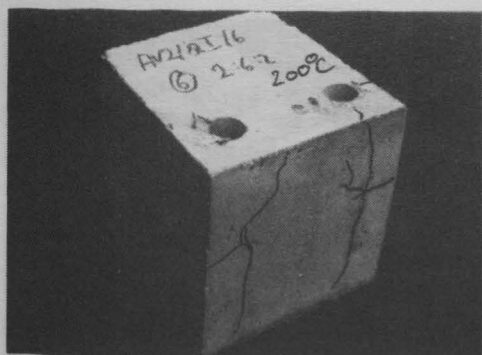


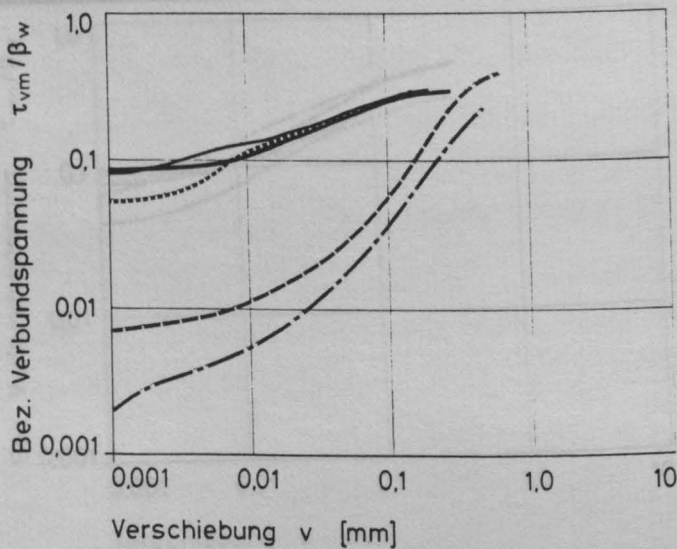
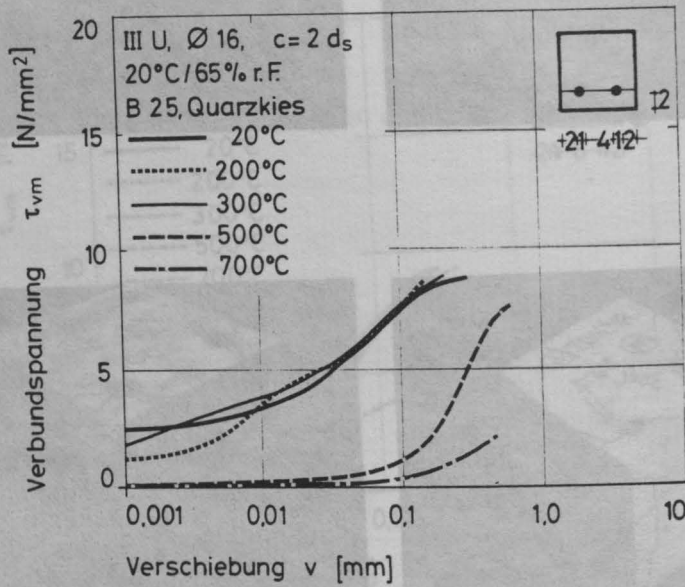
A1/QI/1D	τ_0 N/mm ²	τ_{q01} N/mm ²	τ_{q1} N/mm ²	τ_{q2} N/mm ²	τ_{q3} N/mm ²	τ_{q4} N/mm ²	τ_{q5} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
A1/QI/1D/17/20	0.111	0.861	3.349	7.419	0.000	0.000	0.000	8.414	0.617
A1/QI/1D/14/20	0.364	1.543	4.141	7.664	0.000	0.000	0.000	8.768	0.794
A1/QI/1D/11/20	2.125	3.302	6.872	8.776	0.000	0.000	0.000	8.985	0.494
Mittelwert	1.067	1.908	4.787	7.953	0.000	0.000	0.000	8.722	0.635
Varianz	0.681	1.044	2.277	0.349	0.000	0.000	0.000	0.055	0.015
Streuung	0.825	1.022	1.509	0.590	0.000	0.000	0.000	0.235	0.123
Mittelw. / Beta	0.043	0.077	0.194	0.322	0.000	0.000	0.000	0.353	
Tau max. = 100%	12.2 %	21.9 %	54.9 %	91.2 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	12.1 %	21.7 %	54.3 %	90.3 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
A1/QI/1D/7/150	0.502	1.626	5.292	7.105	0.000	0.000	0.000	7.227	0.447
Mittelwert	0.502	1.626	5.292	7.105	0.000	0.000	0.000	7.227	0.447
Mittelw. / Beta	0.020	0.066	0.215	0.289	0.000	0.000	0.000	0.294	
Tau max. = 100%	6.9 %	22.5 %	73.2 %	98.3 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	5.8 %	18.6 %	60.7 %	81.5 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	82.9 %	
A1/QI/1D/13/200	1.919	2.386	4.817	8.733	0.000	0.000	0.000	9.293	0.497
A1/QI/1D/18/200	1.054	1.797	4.303	7.749	0.000	0.000	0.000	8.168	0.492
Mittelwert	1.486	2.091	4.563	8.241	0.000	0.000	0.000	8.731	0.494
Varianz	0.187	0.087	0.065	0.242	0.000	0.000	0.000	0.316	0.000
Streuung	0.433	0.295	0.254	0.492	0.000	0.000	0.000	0.563	0.003
Mittelw. / Beta	0.061	0.085	0.186	0.336	0.000	0.000	0.000	0.356	
Tau max. = 100%	17.0 %	24.0 %	52.3 %	94.4 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	17.0 %	24.0 %	52.3 %	94.5 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100 %	
A1/QI/1D/4/300	0.000	1.877	6.356	8.472	0.000	0.000	0.000	8.632	0.413
A1/QI/1D/6/300	-0.002	0.551	5.112	9.396	0.000	0.000	0.000	8.801	0.511
Mittelwert	-0.002	1.214	5.734	8.434	0.000	0.000	0.000	8.717	0.462
Varianz	0.000	0.440	0.387	0.001	0.000	0.000	0.000	0.007	0.002
Streuung	0.000	0.663	0.622	0.039	0.000	0.000	0.000	0.085	0.043
Mittelw. / Beta	-0.000	0.051	0.243	0.357	0.000	0.000	0.000	0.369	
Tau max. = 100%	-0.0 %	13.9 %	65.8 %	96.8 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	13.9 %	65.7 %	96.7 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	99.9 %	
A1/QI/1D/12/400	0.002	1.666	5.004	8.023	0.000	0.000	0.000	8.695	0.489
A1/QI/1D/16/400	0.004	1.463	3.898	6.749	0.000	0.000	0.000	7.457	0.547
Mittelwert	0.003	1.565	4.451	7.386	0.000	0.000	0.000	8.076	0.518
Varianz	0.000	0.010	0.306	0.406	0.000	0.000	0.000	0.383	0.001
Streuung	0.001	0.102	0.553	0.637	0.000	0.000	0.000	0.619	0.029
Mittelw. / Beta	0.000	0.076	0.215	0.357	0.000	0.000	0.000	0.390	
Tau max. = 100%	0.0 %	19.4 %	55.1 %	91.5 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	17.9 %	51.0 %	84.7 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	92.6 %	
A1/QI/1D/5/500	0.150	0.889	3.258	4.876	0.000	0.000	0.000	5.450	0.615
Mittelwert	0.150	0.889	3.258	4.876	0.000	0.000	0.000	5.450	0.615
Mittelw. / Beta	0.010	0.057	0.210	0.315	0.000	0.000	0.000	0.352	
Tau max. = 100%	2.8 %	16.3 %	59.8 %	89.5 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.7 %	10.2 %	37.4 %	55.3 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	62.5 %	
A1/QI/1D/15/600	1.275	1.921	2.994	4.059	0.000	0.000	0.000	4.151	0.389
Mittelwert	1.275	1.921	2.994	4.059	0.000	0.000	0.000	4.151	0.389
Mittelw. / Beta	0.130	0.196	0.305	0.414	0.000	0.000	0.000	0.424	
Tau max. = 100%	30.7 %	46.3 %	72.1 %	97.8 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	14.6 %	22.0 %	34.9 %	46.5 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	47.6 %	
A1/QI/1D/2/700	0.000	0.386	2.916	4.022	0.000	0.000	0.000	4.128	0.449
A1/QI/1D/3/700	-0.001	0.424	2.821	3.812	0.000	0.000	0.000	4.151	0.618
Mittelwert	-0.001	0.395	2.869	3.917	0.000	0.000	0.000	4.139	0.533
Varianz	0.000	0.001	0.002	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
Streuung	0.000	0.029	0.048	0.105	0.000	0.000	0.000	0.012	0.084
Mittelw. / Beta	-0.000	0.049	0.354	0.484	0.000	0.000	0.000	0.511	
Tau max. = 100%	-0.0 %	9.5 %	69.3 %	94.6 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	4.5 %	32.9 %	44.9 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	47.5 %	

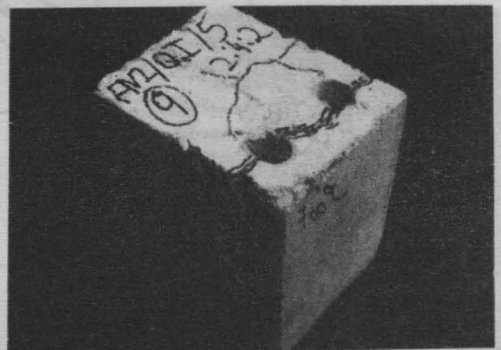
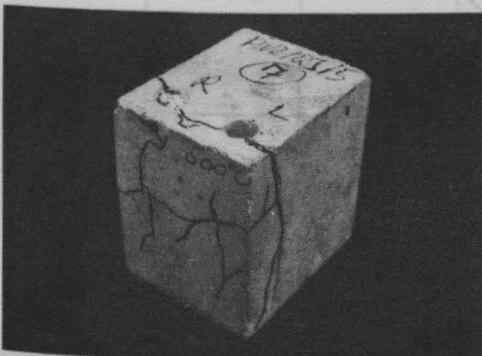
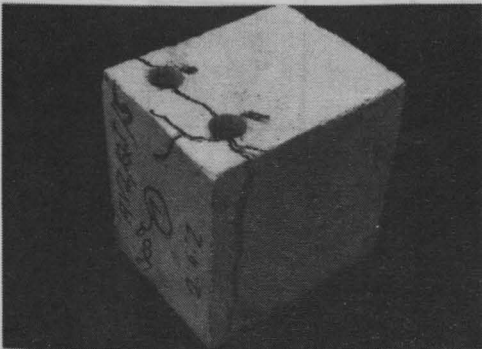
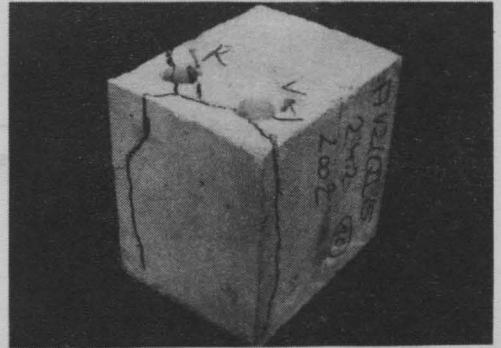
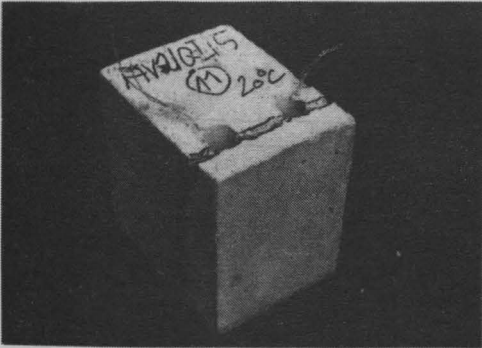


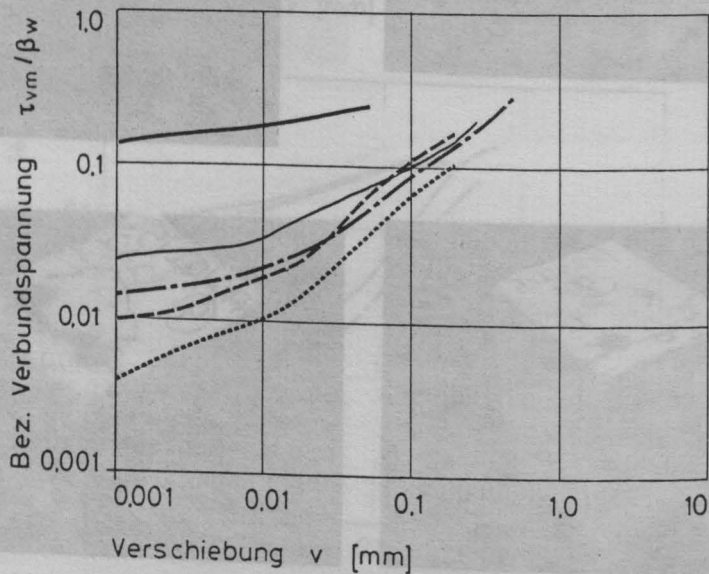
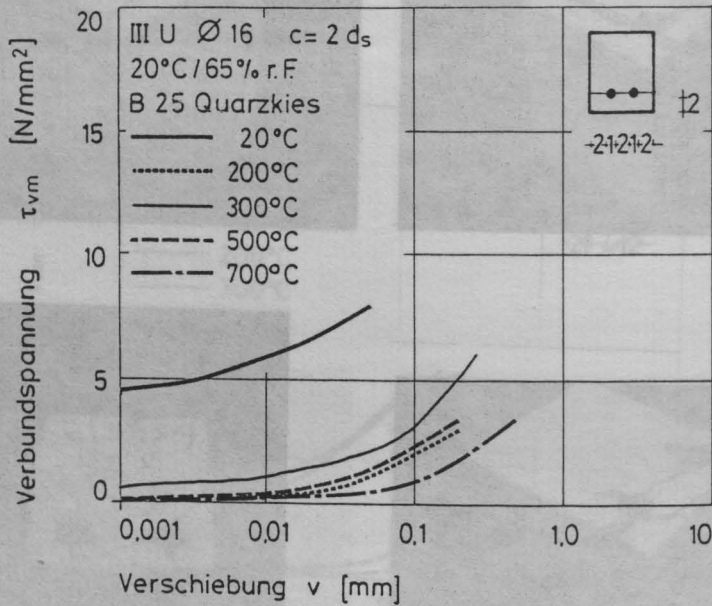
4. Ausziehversuche Doppelstäbe

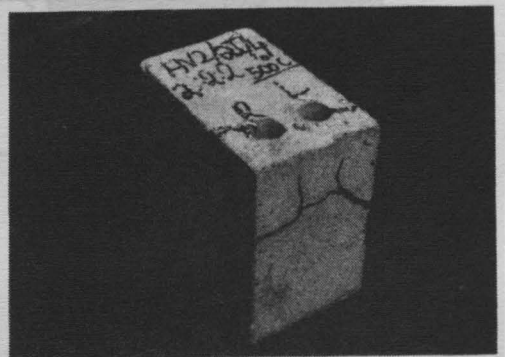
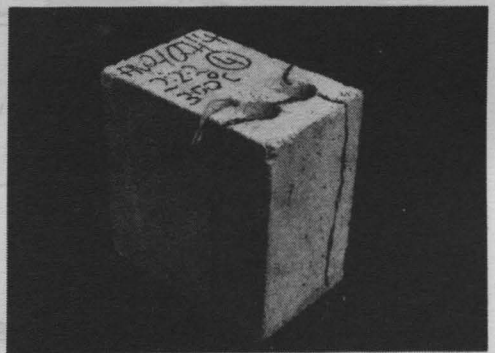


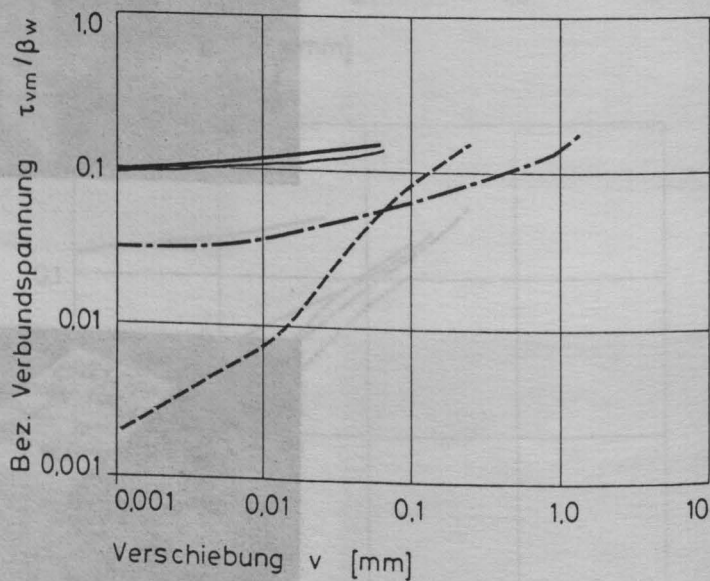
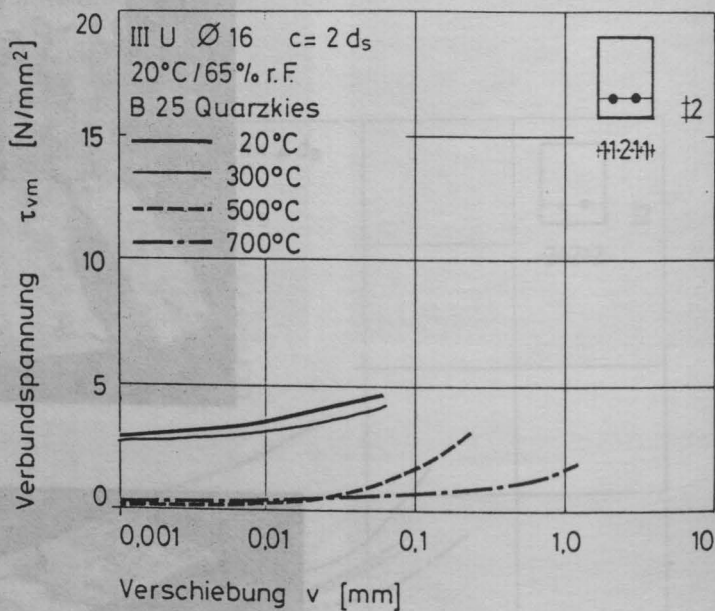


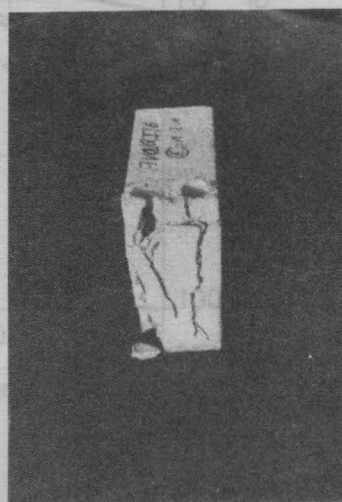
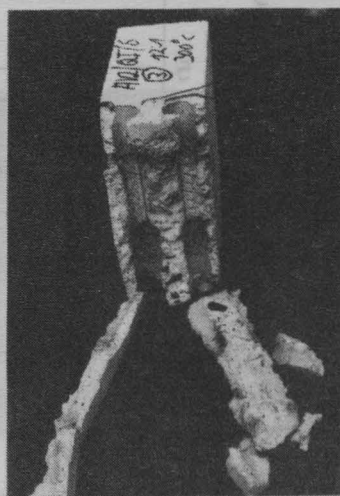
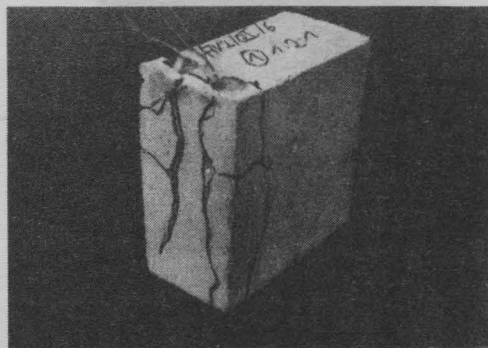


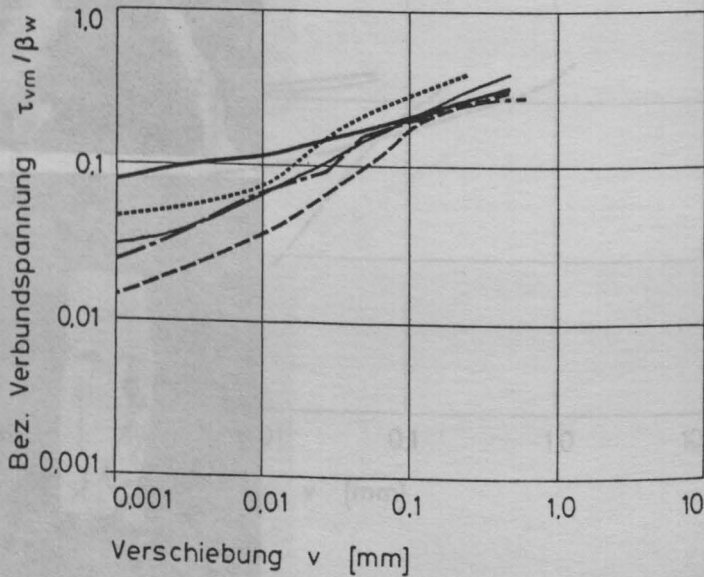
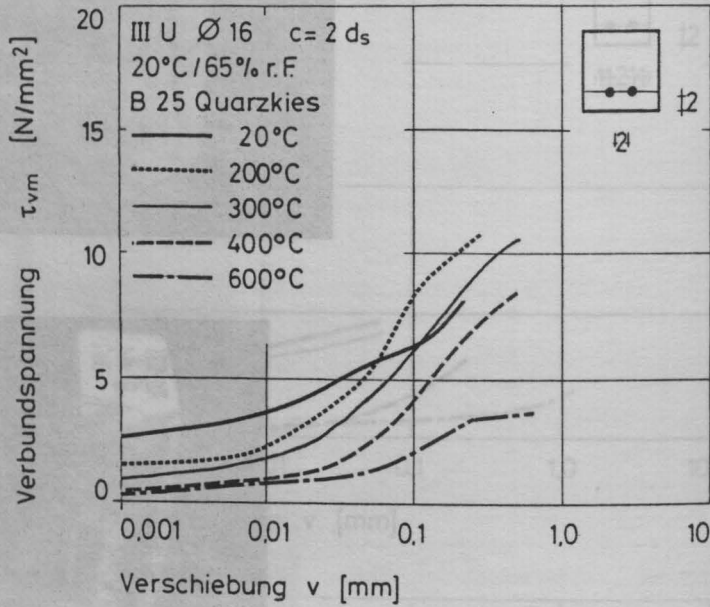


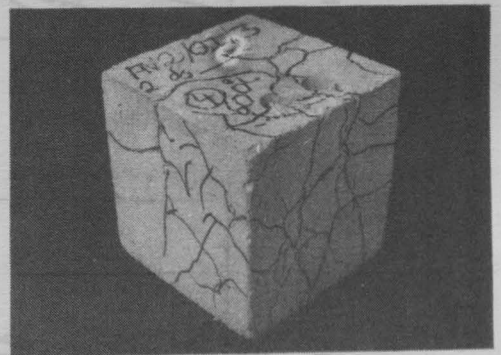
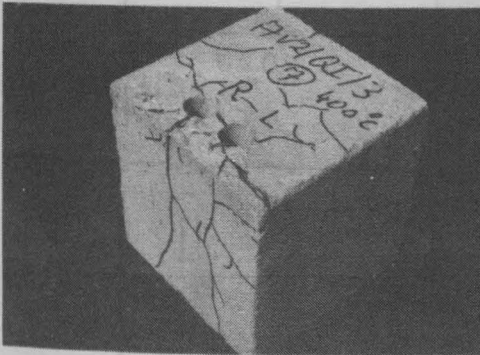
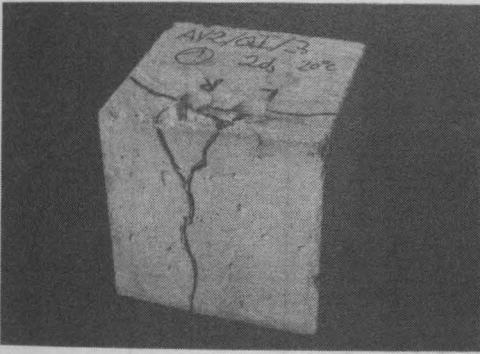


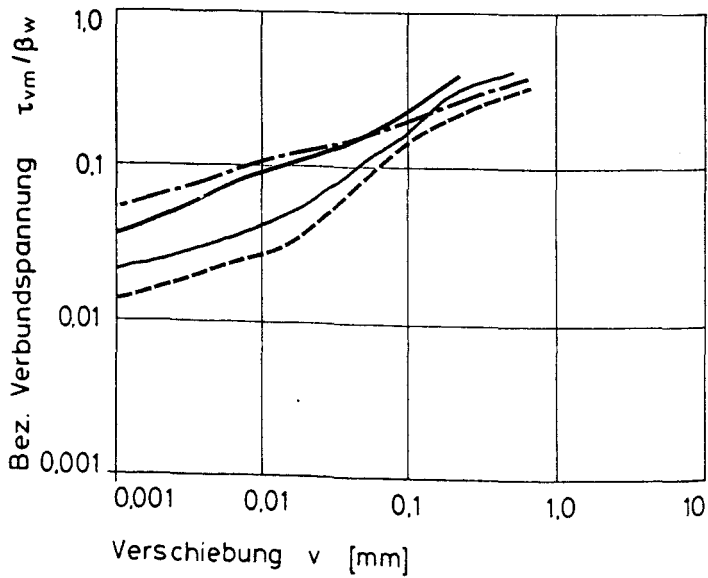
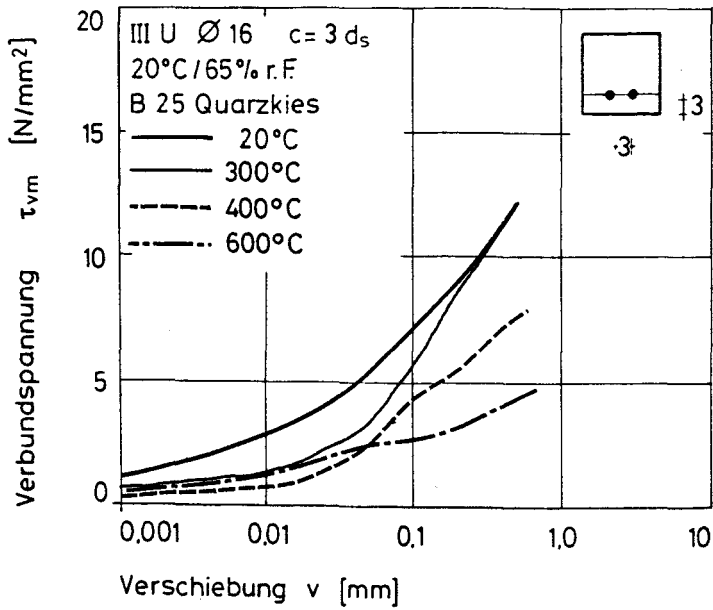




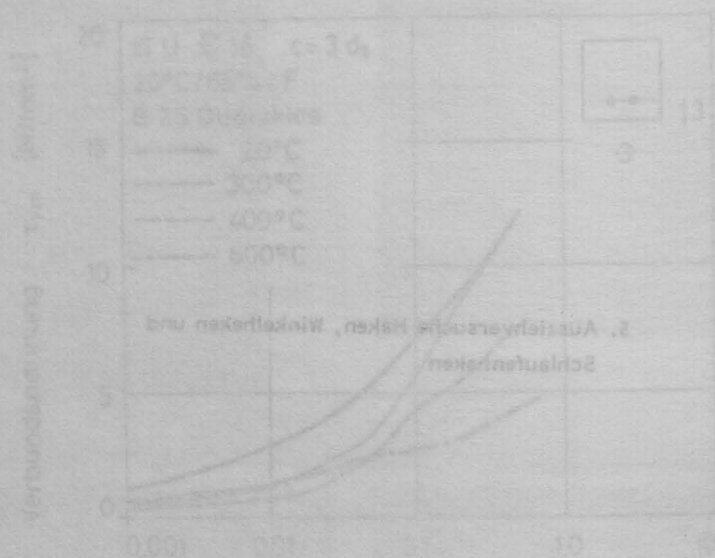








5. Ausziehversuche Haken, Winkelhaken und Schlaufenhaken



***** AWV/U/3 *****

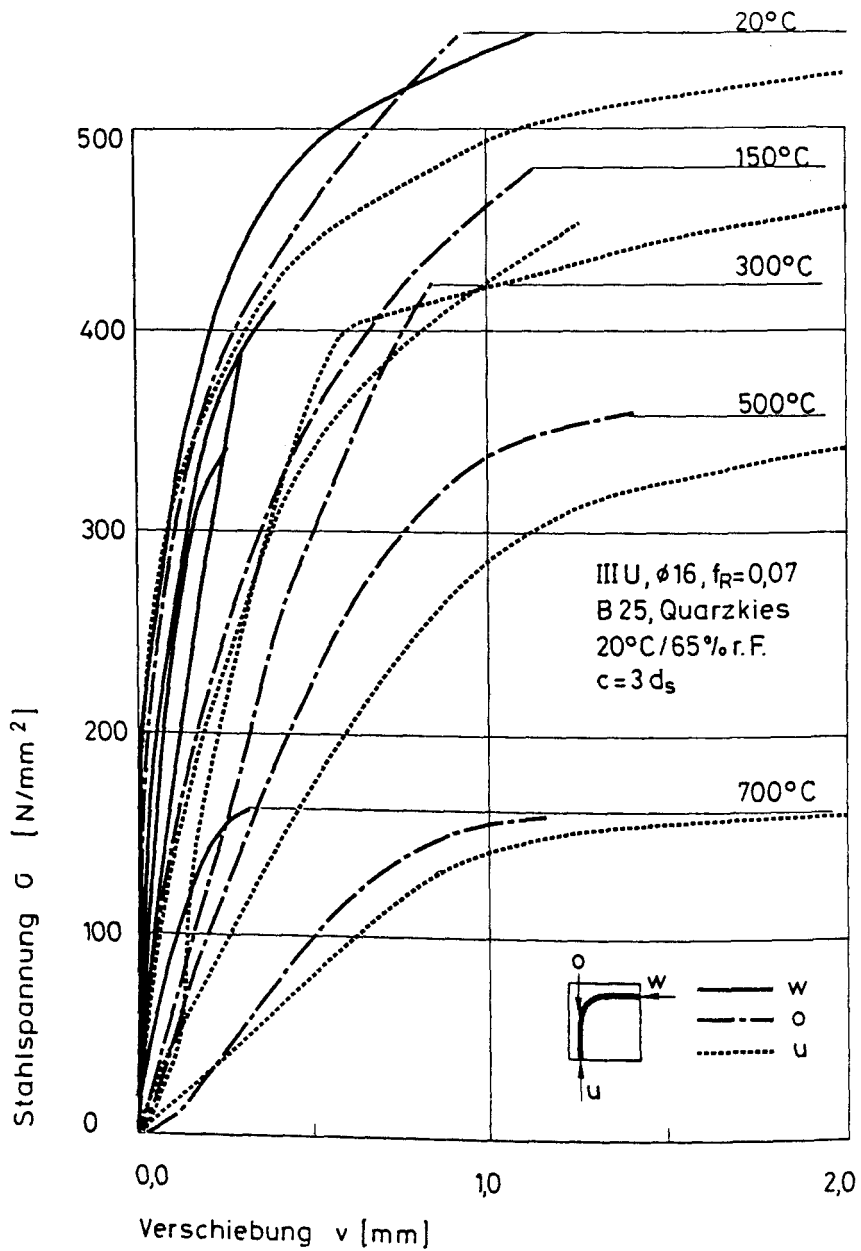
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Hakenwinkel : 90 Grad
 Verbundlaenge : 14.50 ds
 Betondeckung : 3 ds
 Beton : B25
 Zuschlagsart : Quarzkies
 Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
 Sieblinie : B16
 Koernungsziffer : 3.79
 Wasser-Zement-Wert : 0.84
 Ausbreitmass : 35.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.12
 Beta-w,28 : 30.5 N/mm**2
 Beta-w,VD : 33.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.48 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 4,5,6,12
 150 Grad : 7,9
 200 Grad :
 300 Grad : 2,11
 400 Grad :
 500 Grad : 1,8,14
 600 Grad :
 700 Grad : 3

(Datenfile z.B.: AWV/U/2W/11/300)

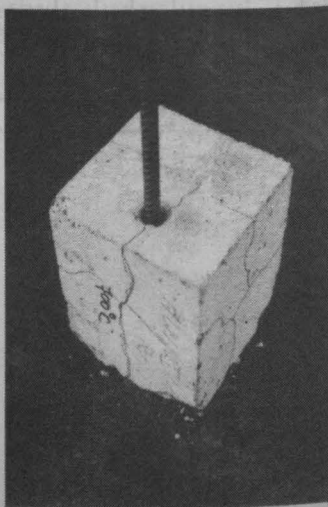
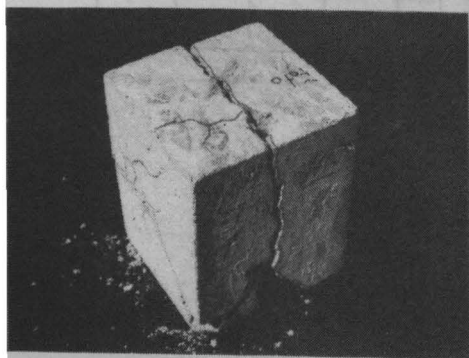
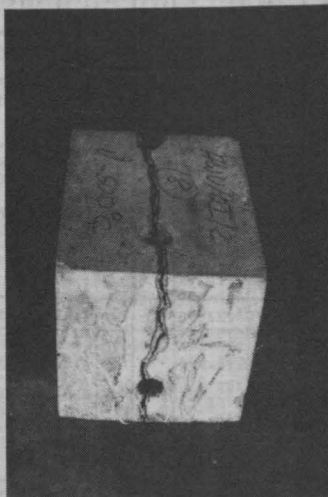
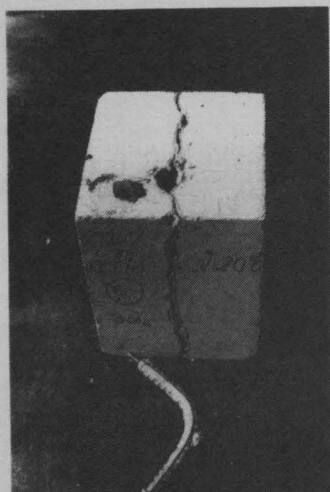
Bemerkungen:



AWV/U/3W	G₀ N/mm ²	G₀₀₁ N/mm ²	G₀₁ N/mm ²	G₀₃ N/mm ²	G₀₅ N/mm ²	G₀₉ N/mm ²	G₁₀ N/mm ²	G_u N/mm ²	v_{max} mm
AWV/U/3W/4/20	204.506	257.709	427.616	0.000	0.000	0.000	0.000	531.040	0.279
AWV/U/3W/5/20	503.123	594.454	443.161	473.354	0.000	0.000	0.000	539.164	0.697
AWV/U/3W/6/20	35.825	74.025	176.524	215.556	503.262	517.513	628.166	3.118	0.464
AWV/U/3W/12/20	0.000	37.232	215.713	437.317	0.000	0.000	483.059		
Mittelwert	149.626	190.869	315.255	409.700	503.262	517.513	544.357	1.139	
Varianz	20451.0	20787.1	14053.1	4639.4	0.000	0.000	2710.7	1.327	
Streuung	143.009	144.180	118.545	68.113	0.000	0.000	52.064	1.152	
Mittelw. / Beta	4.874	6.317	10.357	13.343	15.333	16.857	17.732		
Tau max. = 100%	27.5 %	35.1 %	56.5 %	75.3 %	92.5 %	95.1 %	100.0 %		
Tau max. 20 C	27.2 %	34.7 %	57.3 %	74.5 %	91.5 %	94.1 %	99.0 %		
AWV/U/3W/7/150	0.143	13.671	65.637	383.417	0.000	0.000	486.626	0.428	
AWV/U/3W/9/150	0.039	27.037	221.011	0.000	0.000	0.000	367.671	0.175	
Mittelwert	0.124	20.354	174.924	388.417	0.000	0.000	427.149	0.302	
Varianz	0.001	44.662	11354.1	0.000	0.000	0.000	3537.5	0.016	
Streuung	0.025	6.683	106.087	0.000	0.000	0.000	59.478	0.127	
Mittelw. / Beta	0.004	0.370	3.754	12.777	0.000	0.000	14.051		
Tau max. = 100%	0.0 %	4.8 %	41.0 %	90.9 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %		
Tau max. 20 C	0.0 %	3.7 %	32.1 %	71.4 %	0.0 %	0.0 %	78.5 %		
AWV/U/3W/1/500	45.382	30.383	269.156	368.493	0.000	0.000	402.895	0.470	
AWV/U/3W/8/500	16.124	17.103	133.343	0.000	0.000	0.000	301.273	0.205	
AWV/U/3W/14/500	5.917	48.553	302.553	0.000	0.000	0.000	308.693	0.127	
Mittelwert	23.801	35.522	242.573	368.493	0.000	0.000	337.622	0.266	
Varianz	280.656	703.208	3955.2	0.000	0.000	0.000	2139.4	0.022	
Streuung	15.753	26.518	62.756	0.000	0.000	0.000	46.254	0.148	
Mittelw. / Beta	1.253	2.677	12.563	20.123	0.000	0.000	17.493		
Tau max. = 100%	7.0 %	16.4 %	71.8 %	115 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %		
Tau max. 20 C	4.4 %	10.2 %	44.6 %	71.4 %	0.0 %	0.0 %	62.0 %		
AWV/U/3W/5/700	11.513	32.715	34.535	0.000	0.000	0.000	160.843	0.318	
Mittelwert	11.513	32.715	34.535	0.000	0.000	0.000	160.843	0.318	
Mittelw. / Beta	1.152	2.271	3.453	0.000	0.000	0.000	16.084		
Tau max. = 100%	7.2 %	14.1 %	58.9 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %		
Tau max. 20 C	3.1 %	4.7 %	17.4 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	29.5 %		

AWV/U/30	G_0 N/mm ²	G_{001} N/mm ²	G_{00} N/mm ²	G_{03} N/mm ²	G_{09} N/mm ²	G_{10} N/mm ²	G_u N/mm ²	v_{max} mm
AWV/U/20/4/20	70.536	106.599	717.347	588.695	0.000	0.000	412.649	0.399
AWV/U/30/5/20	347.458	495.872	479.923	0.000	0.000	0.000	532.911	0.276
AWV/U/20/6/20	9.296	24.455	359.124	911.959	0.000	0.000	627.256	0.728
AWV/U/30/12/20	42.042	57.298	158.773	145.989	314.799	334.999	485.995	2.398
Mittelwert	117.342	149.734	284.747	365.943	314.799	334.999	514.262	0.920
Varianz	13120.	32895.	16304.	16388.	0.000	0.000	6093.2	0.700
Streuung	114.613	171.312	127.689	129.354	0.000	0.000	78.034	0.897
Mittelw. / Beta	3.822	4.343	7.601	11.331	10.254	10.908	16.743	
Tau max. = 100%	22.8 %	28.9 %	57.9 %	71.0 %	61.2 %	65.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	22.6 %	28.6 %	56.8 %	70.3 %	60.6 %	64.3 %	99.0 %	
AWV/U/30/7/150	-0.039	1.942	20.300	115.166	425.894	459.331	439.700	1.298
AWV/U/30/9/150	0.204	12.669	108.175	353.718	0.000	0.000	567.359	0.440
Mittelwert	0.104	7.165	65.223	164.547	425.894	459.331	439.095	0.864
Varianz	0.010	38.729	1249.5	4574.3	0.000	0.000	4912.1	0.180
Streuung	0.100	5.361	42.936	70.176	0.000	0.000	65.667	0.424
Mittelw. / Beta	0.005	0.240	2.633	5.037	14.007	15.110	14.245	
Tau max. = 100%	0.0 %	1.7 %	14.6 %	42.8 %	98.3 %	1106 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.4 %	12.3 %	36.0 %	82.8 %	89.3 %	99.2 %	
AWV/U/30/2/300	23.446	42.851	166.396	505.294	0.000	0.000	452.963	0.694
AWV/U/30/11/300	15.667	49.940	198.337	249.150	381.812	382.458	400.617	1.565
Mittelwert	19.556	44.896	152.376	275.695	381.812	382.458	426.793	1.129
Varianz	15.123	15.646	196.546	734.478	0.000	0.000	685.183	0.190
Streuung	3.880	3.956	14.070	26.542	0.000	0.000	26.174	0.435
Mittelw. / Beta	0.567	1.532	5.331	7.409	15.095	15.093	14.566	
Tau max. = 100%	4.6 %	10.3 %	35.7 %	67.6 %	93.5 %	93.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	3.8 %	8.7 %	29.6 %	59.6 %	74.3 %	74.4 %	99.0 %	
AWV/U/30/1/500	8.639	20.735	79.150	177.188	360.473	373.902	408.704	1.652
AWV/U/30/14/500	6.566	7.436	24.721	120.363	383.971	361.316	303.869	1.168
Mittelwert	7.502	14.111	48.941	149.080	372.225	377.910	353.283	1.410
Varianz	1.292	44.549	386.584	730.534	1242.3	1295.4	2442.3	0.059
Streuung	1.137	6.675	24.220	28.119	35.754	35.932	49.421	0.242
Mittelw. / Beta	0.389	0.791	2.535	7.709	13.551	17.576	15.616	
Tau max. = 100%	2.1 %	9.9 %	15.8 %	41.8 %	90.5 %	94.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.5 %	8.7 %	13.3 %	39.0 %	83.2 %	85.7 %	99.3 %	
AWV/U/30/3/700	0.050	0.423	9.347	53.545	150.572	155.555	159.709	1.160
Mittelwert	0.050	0.423	9.347	53.545	150.572	155.555	159.709	1.160
Mittelw. / Beta	0.005	0.043	0.935	5.355	15.057	15.555	15.971	
Tau max. = 100%	0.0 %	0.9 %	5.9 %	33.5 %	94.3 %	97.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	0.7 %	4.8 %	30.4 %	89.9 %	90.3 %	91.1 %	

AWV/U/3U	σ_0 N/mm ²	σ_{001} N/mm ²	σ_{01} N/mm ²	σ_{03} N/mm ²	σ_{05} N/mm ²	σ_{10} N/mm ²	σ_u N/mm ²	v_{max} mm
AWV/U/3U/4/20	10.062	17.781	46.505	173.722	420.476	446.593	531.055	3.045
AWV/U/3U/5/20	15.303	22.942	53.873	193.335	464.686	467.894	534.124	2.630
AWV/U/3U/6/20	229.378	378.146	457.170	476.673	515.332	521.387	541.203	2.043
AWV/U/3U/12/20	577.573	595.907	591.415	555.824	741.894	542.993	561.613	4.296
Mittelwert	185.732	291.079	317.345	335.837	455.732	434.821	541.939	3.003
Varianz	30125	45340	35453	12907	2195	1324.0	141.783	0.684
Streuung	172.965	212.712	180.063	113.634	46.789	39.093	11.907	0.827
Mittelw. / Beta	5.050	7.377	10.327	17.825	15.222	16.118	17.655	
Tau max. = 100%	34.2 %	42.6 %	55.5 %	73.2 %	89.5 %	91.9 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	33.3 %	42.2 %	57.3 %	72.5 %	88.7 %	90.4 %	99.0 %	
AWV/U/3U/7/150	0.099	1.690	22.713	357.712	409.970	413.911	491.222	4.144
Mittelwert	0.099	1.690	22.713	357.712	409.970	413.911	491.222	4.144
Mittelw. / Beta	0.009	0.034	0.945	20.478	19.496	19.615	16.159	
Tau max. = 100%	0.0 %	0.3 %	5.9 %	33.3 %	39.5 %	84.3 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	0.0 %	0.3 %	5.3 %	47.5 %	75.6 %	75.4 %	90.6 %	
AWV/U/3U/2/300	24.376	37.063	144.125	263.935	411.806	423.951	453.874	1.265
Mittelwert	24.376	37.063	144.125	263.935	411.806	423.951	453.874	1.265
Mittelw. / Beta	0.852	1.265	4.913	3.302	14.055	14.469	15.491	
Tau max. = 100%	5.5 %	8.2 %	31.3 %	55.1 %	95.7 %	93.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	4.6 %	3.8 %	25.6 %	49.7 %	79.2 %	73.2 %	83.7 %	
AWV/U/3U/1/500	48.662	59.750	104.265	183.321	300.588	319.180	380.157	3.449
AWV/U/3U/14/500	0.100	0.403	3.150	41.372	220.403	252.754	303.500	1.567
Mittelwert	48.662	59.750	104.265	183.321	300.588	319.180	380.157	3.449
Varianz	3.225	37.670	2413.4	8015.1	1607.4	1103.1	1666.3	0.885
Streuung	5.609	20.626	49.185	70.825	40.093	33.213	40.823	0.941
Mittelw. / Beta	2.321	1.567	2.931	3.302	14.015	14.817	18.100	
Tau max. = 100%	13.9 %	3.0 %	15.7 %	33.1 %	77.4 %	81.9 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	9.0 %	2.9 %	10.2 %	20.7 %	49.3 %	52.8 %	64.5 %	
AWV/U/3U/3/700	6.345	7.655	12.303	17.704	125.929	142.930	160.310	2.017
Mittelwert	6.345	7.655	12.303	17.704	125.929	142.930	160.310	2.017
Mittelw. / Beta	0.635	0.765	1.230	1.770	12.593	14.293	16.031	
Tau max. = 100%	4.0 %	4.8 %	11.4 %	23.3 %	84.3 %	99.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	3.2 %	3.4 %	9.4 %	8.9 %	25.1 %	26.4 %	29.6 %	



***** AWV/U/2 *****

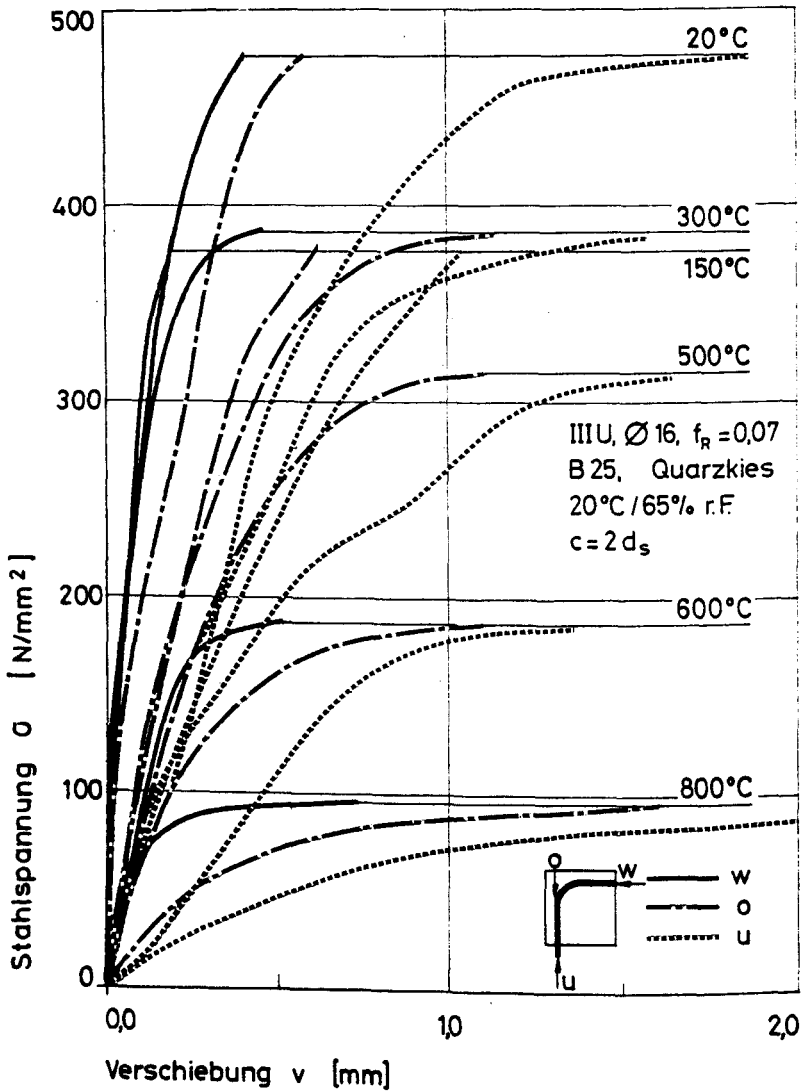
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.07$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Hakenwinkel : 90 Grad
 Verbundlaenge : 13.75 ds
 Betondeckung : 2 ds
 Beton : B25
 Zuschlagsart : Quarzkies
 Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
 Sieblinie : B16
 Koernungsziffer : 3.78
 Wasser-Zement-Wert : 0.82
 Ausbreitmass : 37.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.11
 Beta-w,28 : 31.0 N/mm**2
 Beta-w,VD : 33.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.59 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 4,20,21
 150 Grad : 9,14
 200 Grad : 5,19
 300 Grad : 2,11,18
 400 Grad : 1,15
 500 Grad : 13
 600 Grad : 10,17
 700 Grad : 16

(Datenfile z.B.: AWV/U/2W/13/400)

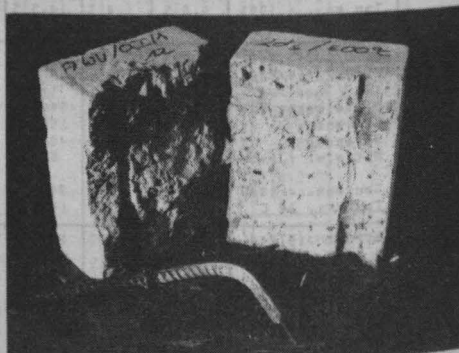
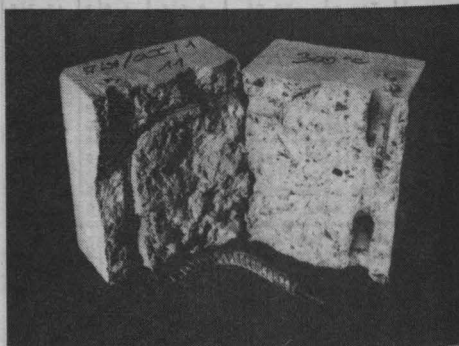
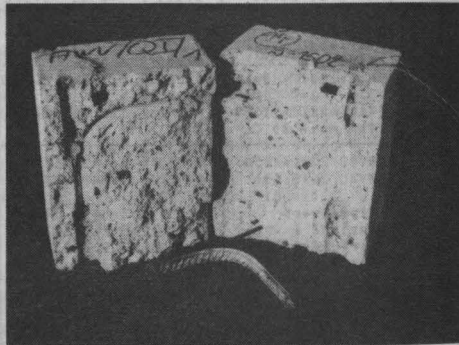
Bemerkungen:



AWV/U/20	σ_0 N/mm ²	σ_{01} N/mm ²	σ_{01} N/mm ²	σ_{03} N/mm ²	σ_{09} N/mm ²	σ_{10} N/mm ²	σ_u N/mm ²	v_{max} mm
AWV/U/20/20/20	53.678	99.740	219.951	330.831	0.000	0.000	463.404	0.463
AWV/U/20/4/20	50.482	70.681	178.345	285.134	0.000	0.000	433.649	0.582
AWV/U/20/21/20	62.066	92.676	197.573	331.642	0.000	0.000	472.073	0.719
Mittelwert	57.395	87.765	192.782	305.369	0.000	0.000	476.375	0.588
Varianz	28.534	150.863	532.352	588.850	0.000	0.000	161.715	0.011
Streuung	5.342	12.233	16.803	24.266	0.000	0.000	12.717	0.105
Mittelw. / Beta	2.243	5.415	7.735	14.296	0.000	0.000	18.536	
Tau max. = 100%	12.1 %	12.4 %	41.7 %	76.8 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	12.0 %	18.2 %	41.2 %	75.0 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
AWV/U/20/14/150	15.766	24.333	113.445	273.864	0.000	0.000	358.878	0.535
AWV/U/20/9/150	23.966	57.839	110.738	231.469	0.000	0.000	376.161	0.721
Mittelwert	22.866	31.444	112.117	261.315	0.000	0.000	367.520	0.628
Varianz	50.410	41.667	1.765	103.150	0.000	0.000	74.676	0.003
Streuung	7.100	6.435	1.323	10.448	0.000	0.000	8.642	0.093
Mittelw. / Beta	0.897	1.233	4.397	10.277	0.000	0.000	14.413	
Tau max. = 100%	6.2 %	8.6 %	30.5 %	71.3 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	4.8 %	6.6 %	23.5 %	55.0 %	0.0 %	0.0 %	77.2 %	
AWV/U/20/19/200	-0.303	75.013	0.000	0.000	0.000	0.000	421.844	0.052
AWV/U/20/5/200	-0.050	10.756	191.133	231.121	0.000	0.000	436.700	0.604
Mittelwert	-0.353	41.327	131.133	221.131	0.000	0.000	429.272	0.328
Varianz	0.000	359.122	0.000	0.000	0.000	0.000	55.175	0.076
Streuung	0.000	31.121	0.000	0.000	0.000	0.000	7.429	0.276
Mittelw. / Beta	-0.014	1.649	7.527	12.645	0.000	0.000	16.900	
Tau max. = 100%	-0.1 %	3.3 %	44.3 %	74.2 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.1 %	8.6 %	40.1 %	67.4 %	0.0 %	0.0 %	90.1 %	
AWV/U/20/11/300	23.650	40.331	117.535	247.818	410.335	410.643	410.877	1.080
AWV/U/20/18/300	-0.303	4.308	124.913	234.875	360.856	363.072	363.339	1.269
AWV/U/20/2/300	0.050	5.991	191.143	230.316	371.337	375.742	378.638	1.083
Mittelwert	11.638	17.064	124.533	244.270	381.043	383.486	386.505	1.144
Varianz	139.263	284.351	30.942	45.345	343.453	333.305	309.444	0.008
Streuung	11.801	16.863	5.563	6.734	21.200	19.938	17.591	0.089
Mittelw. / Beta	0.477	0.696	3.093	3.970	15.553	15.652	15.776	
Tau max. = 100%	3.0 %	4.4 %	32.2 %	63.2 %	92.6 %	99.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.5 %	3.6 %	26.1 %	51.3 %	80.0 %	80.5 %	81.1 %	
AWV/U/20/1/400	-0.039	36.082	123.292	276.634	392.880	385.666	388.392	1.111
AWV/U/20/15/400	-0.052	3.574	23.280	71.334	213.220	237.371	336.218	1.581
Mittelwert	-0.143	22.825	75.331	174.282	298.050	311.518	362.305	1.346
Varianz	0.400	373.633	2213.7	10475.7	7196.1	5497.8	680.532	0.055
Streuung	0.000	19.254	47.051	102.349	84.830	74.148	26.087	0.235
Mittelw. / Beta	-0.007	1.062	3.504	3.106	13.863	14.483	16.831	
Tau max. = 100%	-0.0 %	6.3 %	20.6 %	48.1 %	92.3 %	86.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.6 %	4.8 %	13.8 %	36.5 %	82.6 %	65.4 %	76.1 %	
AWV/U/20/13/500	0.149	1.922	7.135	107.635	303.094	311.335	313.665	1.264
Mittelwert	0.149	1.922	7.135	107.635	303.094	311.335	313.665	1.264
Mittelw. / Beta	0.001	0.032	0.443	6.693	16.826	13.338	19.353	
Tau max. = 100%	0.6 %	0.4 %	2.3 %	63.7 %	94.3 %	97.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	0.3 %	1.5 %	32.5 %	83.6 %	65.4 %	67.1 %	
AWV/U/20/17/600	-0.675	1.839	18.334	66.712	192.163	202.323	205.343	1.349
AWV/U/20/10/600	-0.356	0.756	3.653	10.753	152.716	153.088	166.149	1.383
Mittelwert	-0.134	1.178	11.493	38.739	175.342	180.205	186.046	1.366
Varianz	1.503	0.173	61.473	733.317	494.017	433.124	335.831	0.000
Streuung	0.000	0.424	7.841	27.374	22.237	22.112	18.897	0.017
Mittelw. / Beta	-0.012	0.117	1.158	3.336	17.420	17.842	18.420	
Tau max. = 100%	-0.1 %	0.6 %	6.2 %	20.6 %	94.6 %	96.9 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	0.2 %	2.4 %	5.1 %	36.3 %	37.8 %	39.1 %	
AWV/U/20/15/800	0.124	5.631	20.166	56.353	87.145	88.731	95.423	1.608
Mittelwert	0.124	5.631	20.166	56.353	87.145	88.731	95.423	1.608
Mittelw. / Beta	0.023	1.033	4.753	17.357	15.345	16.139	17.351	
Tau max. = 100%	0.1 %	6.0 %	27.4 %	59.7 %	31.3 %	32.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.2 %	3.5 %	10.0 %	18.3 %	15.6 %	20.0 %	

AWV/U/2W	G_0 N/mm ²	G_{01} N/mm ²	G_{01} N/mm ²	G_{02} N/mm ²	G_{03} N/mm ²	G_{10} N/mm ²	G_u N/mm ²	V_{max} mm
AWV/U/2W/20/20	168.417	208.339	339.751	456.216	0.000	0.000	459.470	0.451
AWV/U/2W/4/20	0.254	103.440	303.466	0.350	0.000	0.000	433.246	0.299
AWV/U/2W/21/20	-0.254	16.199	162.814	380.355	0.000	0.000	472.526	0.481
Mittelwert	34.209	110.381	265.344	418.285	0.000	0.000	475.080	0.410
Varianz	7069.7	6157.7	5870.1	1438.7	0.000	0.000	193.400	0.006
Streuung	84.082	78.471	76.617	37.921	0.000	0.000	13.907	0.086
Mittelw. / Beta	3.277	4.318	10.480	16.276	0.000	0.000	18.486	
Tau max. = 100%	17.7 %	23.4 %	56.7 %	88.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	17.5 %	23.1 %	56.1 %	87.2 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
AWV/U/2W/14/150	0.000	3.453	371.055	0.000	0.000	0.000	358.628	0.181
AWV/U/2W/9/150	-0.254	171.776	325.452	0.000	0.000	0.000	377.171	0.205
Mittelwert	-0.254	87.514	298.253	0.000	0.000	0.000	368.000	0.193
Varianz	0.000	7093.1	733.240	0.000	0.000	0.000	84.116	0.000
Streuung	0.000	84.162	27.200	0.000	0.000	0.000	9.172	0.012
Mittelw. / Beta	-0.010	3.436	11.695	0.000	0.000	0.000	14.431	
Tau max. = 100%	-0.1 %	23.8 %	81.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.1 %	18.4 %	62.6 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	77.3 %	
AWV/U/2W/19/200	55.889	194.610	336.225	0.000	0.000	0.000	422.353	0.203
AWV/U/2W/5/200	163.573	239.013	363.643	0.000	0.000	0.000	434.577	0.185
Mittelwert	109.731	216.514	349.334	0.000	0.000	0.000	428.765	0.194
Varianz	2838.9	596.430	187.837	0.000	0.000	0.000	33.779	0.000
Streuung	53.842	22.504	13.769	0.000	0.000	0.000	5.812	0.003
Mittelw. / Beta	4.320	8.524	13.777	0.000	0.000	0.000	16.381	
Tau max. = 100%	25.6 %	50.5 %	81.6 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	23.0 %	45.5 %	73.5 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	90.0 %	
AWV/U/2W/11/300	120.720	152.711	230.926	337.332	0.000	0.000	411.388	0.456
AWV/U/2W/18/300	0.089	3.210	237.725	356.966	0.000	0.000	369.890	0.510
AWV/U/2W/2/300	0.149	100.256	250.037	355.263	0.000	0.000	373.802	0.417
Mittelwert	40.323	85.392	259.583	374.370	0.000	0.000	387.261	0.461
Varianz	3231.2	3835.5	316.713	300.454	0.000	0.000	322.353	0.001
Streuung	56.850	61.922	22.731	17.332	0.000	0.000	17.954	0.038
Mittelw. / Beta	1.646	3.435	10.595	13.230	0.000	0.000	15.807	
Tau max. = 100%	10.4 %	20.1 %	67.0 %	91.7 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	8.5 %	17.9 %	54.5 %	73.5 %	0.0 %	0.0 %	91.3 %	
AWV/U/2W/1/400	0.000	10.410	259.912	377.821	0.000	0.000	386.374	0.469
AWV/U/2W/15/400	-0.050	7.559	61.032	219.731	0.000	0.000	336.871	0.757
Mittelwert	-0.050	9.030	160.502	295.281	0.000	0.000	361.822	0.613
Varianz	0.000	1.334	3632.3	6328.3	0.000	0.000	632.598	0.021
Streuung	0.000	1.334	60.410	79.550	0.000	0.000	25.152	0.144
Mittelw. / Beta	-0.002	0.420	7.463	13.374	0.000	0.000	16.829	
Tau max. = 100%	-0.0 %	2.5 %	44.4 %	82.4 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	1.3 %	35.7 %	62.5 %	0.0 %	0.0 %	76.0 %	
AWV/U/2W/17/600	-0.075	5.072	123.237	204.563	0.000	0.000	207.206	0.469
AWV/U/2W/10/600	0.000	18.250	52.162	150.026	0.000	0.000	167.217	0.381
Mittelwert	-0.075	13.451	82.727	177.294	0.000	0.000	197.461	0.512
Varianz	0.000	29.041	944.219	743.344	0.000	0.000	333.804	0.002
Streuung	0.000	5.383	30.757	37.268	0.000	0.000	19.845	0.049
Mittelw. / Beta	-0.007	1.133	3.182	17.554	0.000	0.000	18.561	
Tau max. = 100%	-0.0 %	7.2 %	43.5 %	94.6 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	3.8 %	13.5 %	37.2 %	0.0 %	0.0 %	29.4 %	
AWV/U/2W/16/300	-0.075	31.024	30.335	33.714	0.000	0.000	35.361	0.728
Mittelwert	-0.075	23.834	68.335	34.714	0.000	0.000	95.361	0.728
Mittelw. / Beta	-0.014	4.323	13.343	13.313	0.000	0.000	17.443	
Tau max. = 100%	-0.1 %	24.2 %	71.3 %	33.5 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	4.0 %	14.5 %	13.6 %	0.0 %	0.0 %	20.1 %	

AWV/U/2U	σ_0 N/mm ²	σ_{001} N/mm ²	σ_{01} N/mm ²	σ_{03} N/mm ²	σ_{09} N/mm ²	σ_{10} N/mm ²	σ_u N/mm ²	v_{max} mm
AWV/U/2U/20/20	-0.050	6.004	63.200	217.345	463.293	466.055	466.866	1.113
AWV/U/2U/21/20	0.000	4.243	48.502	149.044	360.377	391.203	473.132	2.004
Mittelwert	-0.050	5.123	55.851	183.494	412.135	428.632	468.999	1.558
Varianz	0.000	0.775	54.063	1136.3	2517.1	1400.4	3.816	0.198
Streuung	0.000	0.881	7.349	34.451	51.153	37.423	3.133	0.446
Mittelw. / Beta	-0.002	0.199	2.173	7.140	16.036	16.678	18.288	
Tau max. = 100%	-0.0 %	1.1 %	11.9 %	39.0 %	87.7 %	91.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	1.1 %	11.8 %	38.7 %	86.8 %	90.3 %	99.0 %	
AWV/U/2U/14/150	0.050	3.143	28.788	84.704	286.213	318.468	356.506	1.131
AWV/U/2U/9/150	0.000	19.343	88.214	221.262	0.000	0.000	383.035	0.926
Mittelwert	0.050	7.043	58.501	152.933	286.213	318.468	369.770	1.028
Varianz	0.000	15.210	882.362	4663.2	0.000	0.000	175.947	0.011
Streuung	0.000	3.900	29.713	68.289	0.000	0.000	13.265	0.102
Mittelw. / Beta	0.002	0.276	2.234	5.000	11.224	12.429	14.501	
Tau max. = 100%	0.0 %	1.9 %	15.6 %	41.4 %	77.4 %	86.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.5 %	12.4 %	32.6 %	60.3 %	67.8 %	78.7 %	
AWV/U/2U/19/200	0.149	4.153	49.560	147.444	358.606	378.630	426.440	1.303
AWV/U/2U/5/200	0.039	12.338	116.308	253.384	409.387	0.000	437.710	1.017
Mittelwert	0.124	8.545	83.234	200.714	384.297	378.630	432.075	1.160
Varianz	0.001	13.294	1139.9	2837.6	650.002	0.000	31.753	0.020
Streuung	0.025	4.393	33.674	53.270	25.631	0.000	5.635	0.143
Mittelw. / Beta	0.005	0.326	3.277	7.302	15.130	14.907	17.011	
Tau max. = 100%	0.0 %	2.0 %	19.3 %	46.5 %	88.9 %	87.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.8 %	17.7 %	42.7 %	81.8 %	80.6 %	91.9 %	
AWV/U/2U/11/300	0.000	4.821	56.128	158.105	391.452	396.939	412.041	1.421
AWV/U/2U/18/300	0.050	4.247	44.857	132.381	345.409	354.999	364.389	1.440
AWV/U/2U/2/300	0.099	4.908	50.752	163.043	312.440	324.584	382.274	1.970
Mittelwert	0.075	4.659	50.579	151.178	349.767	358.621	386.235	1.610
Varianz	0.001	0.086	21.188	180.744	1049.9	880.075	386.296	0.065
Streuung	0.025	0.293	4.603	13.444	32.403	29.666	19.634	0.254
Mittelw. / Beta	0.003	0.190	2.064	6.171	14.276	14.646	15.765	
Tau max. = 100%	0.0 %	1.2 %	13.1 %	33.1 %	30.6 %	32.9 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.0 %	10.8 %	32.2 %	74.4 %	76.3 %	82.2 %	
AWV/U/2U/1/400	0.353	3.350	31.753	93.370	293.110	315.244	385.457	2.059
AWV/U/2U/15/400	0.173	5.416	54.552	154.904	300.714	312.759	334.701	1.649
Mittelwert	0.266	4.383	43.155	124.437	236.912	314.001	360.079	1.831
Varianz	0.008	1.067	123.880	328.238	14.455	1.544	644.043	0.043
Streuung	0.087	1.033	11.337	30.467	3.302	1.243	25.378	0.208
Mittelw. / Beta	0.012	0.204	2.007	5.788	13.810	14.605	16.748	
Tau max. = 100%	0.1 %	1.2 %	12.0 %	34.6 %	82.5 %	87.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.1 %	0.9 %	9.2 %	26.5 %	63.2 %	66.8 %	76.6 %	
AWV/U/2U/13/500	0.000	4.436	45.118	120.638	231.740	240.396	310.624	1.779
Mittelwert	0.000	4.436	45.118	120.638	231.740	240.396	310.624	1.779
Mittelw. / Beta	0.000	0.273	2.302	7.497	14.234	14.369	19.293	
Tau max. = 100%	0.0 %	1.4 %	14.5 %	38.3 %	74.6 %	77.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.0 %	9.6 %	25.7 %	49.3 %	51.3 %	66.1 %	
AWV/U/2U/17/600	-0.025	12.723	105.032	166.300	266.308	0.000	207.237	0.994
AWV/U/2U/10/600	0.149	1.635	24.348	81.346	159.641	159.380	168.422	1.403
Mittelwert	0.124	7.175	64.690	124.423	193.225	163.380	187.899	1.198
Varianz	0.001	29.747	1627.4	1604.2	556.181	0.000	377.039	0.042
Streuung	0.025	5.545	40.342	42.477	23.384	0.000	19.418	0.205
Mittelw. / Beta	0.012	0.711	6.405	12.313	18.141	16.176	18.598	
Tau max. = 100%	0.1 %	3.8 %	34.4 %	65.2 %	97.5 %	87.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.5 %	13.2 %	26.5 %	39.0 %	34.8 %	40.0 %	
AWV/U/2U/15/800	0.075	3.190	13.256	30.810	68.051	71.081	34.513	5.260
Mittelwert	0.075	3.190	13.256	30.810	68.051	71.081	34.513	5.260
Mittelw. / Beta	0.014	0.380	2.410	5.602	12.373	12.924	17.185	
Tau max. = 100%	0.1 %	3.4 %	14.0 %	32.6 %	72.0 %	75.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	0.7 %	2.3 %	5.6 %	14.5 %	15.1 %	20.1 %	



***** AN/LS *****

2241 : 1110 (R) : 0.03

Staubdurchmesser : 18 mm

Werkstoff : 150 B70

Verbindungsart : 13.55 de wicklung 528

Verbindungsart : 2 de wicklung 20°C/65%rF

Beton : 828

Zuschlagart : Quarz

Lagerungsart : 20 B70, 652 rF

Stichtiefe : 810

Kornungsart : 3.78

Wasser-Zement-Wert : 0.85

Ausbreitungsart : 37.0 cm

Verbindungsart : 1.1

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

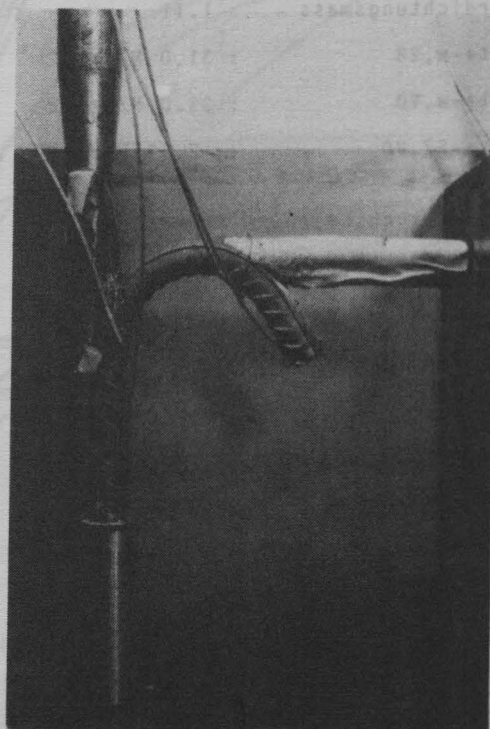
Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0

Beton-Wert : 21.0



***** AH/U/2 *****

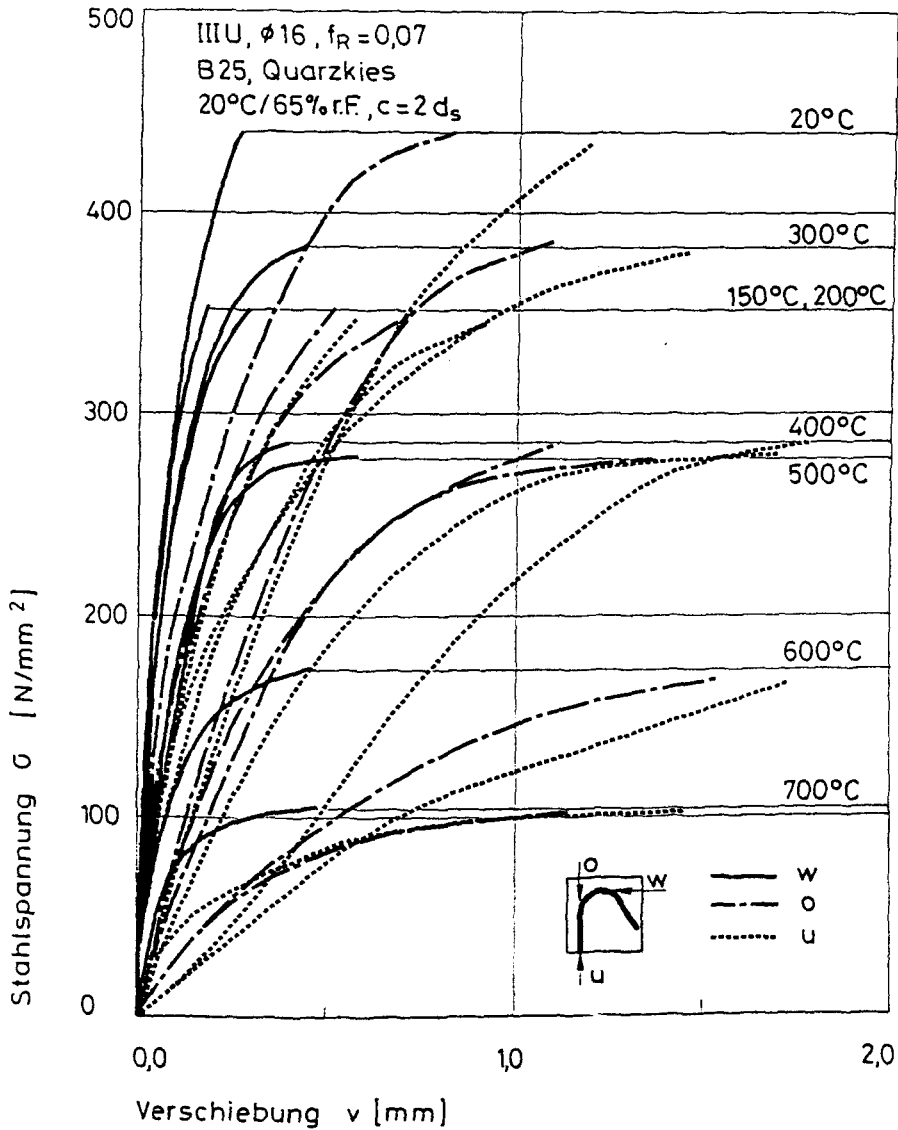
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.07$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Hakenwinkel : 150 Grad
 Verbundlaenge : 13.25 ds
 Betondeckung : 2 ds
 Beton : B25
 Zuschlagsart : Quarzkies
 Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
 Sieblinie : B16
 Koernungsziffer : 3.78
 Wasser-Zement-Wert : 0.82
 Ausbreitmass : 37.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.11
 Beta-w,28 : 31.0 N/mm**2
 Beta-w,VD : 33.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.59 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 8,19,20
 150 Grad : 2,5
 200 Grad : 12,15
 300 Grad : 9,16,18
 400 Grad : 7,10
 500 Grad : 3,6
 600 Grad : 1,17
 700 Grad : 21

(Datenfile z.B.: AH/U/2W/21/700)

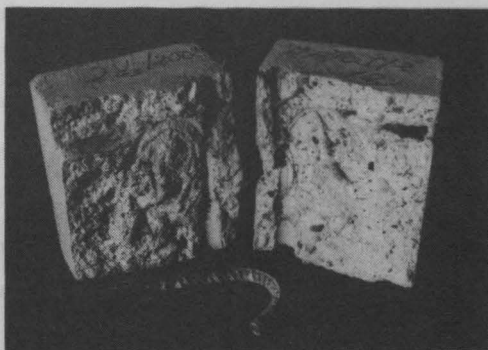
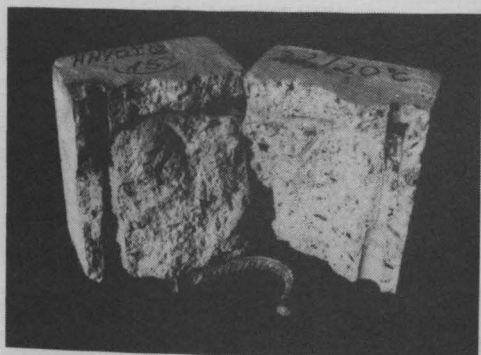
Bemerkungen:



AH/U/20	G_0 N/mm ²	G_{001} N/mm ²	G_{01} N/mm ²	G_{03} N/mm ²	G_{05} N/mm ²	G_{10} N/mm ²	G_u N/mm ²	V_{max} mm
AR/U/20/8/20	89.138	102.339	181.427	312.161	0.000	0.000	432.050	0.709
AR/U/20/19/20	60.882	93.231	215.695	334.373	0.000	0.000	439.481	0.797
AR/U/20/20/20	60.882	93.231	215.695	334.373	441.796	0.000	442.664	0.958
Mittelwert	70.307	96.267	204.272	326.969	441.796	0.000	438.065	0.821
Mittelw. / Beta	2.290	3.136	6.654	10.650	14.391	0.000	14.269	
Tau max. = 100%	16.0 %	22.0 %	46.6 %	74.6 %	100 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	15.9 %	21.8 %	46.2 %	73.9 %	99.9 %	0.0 %	100.0 %	
AR/U/20/2/150	48.866	86.377	144.823	279.746	0.000	0.000	342.306	0.500
AR/U/20/5/150	76.102	112.319	192.389	301.323	0.000	0.000	369.479	0.534
Mittelwert	62.484	89.348	168.707	290.535	0.000	0.000	352.892	0.517
Mittelw. / Beta	2.048	2.936	5.531	9.526	0.000	0.000	11.570	
Tau max. = 100%	17.7 %	25.4 %	47.6 %	82.3 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	14.3 %	20.4 %	38.5 %	66.3 %	0.0 %	0.0 %	80.6 %	
AR/U/20/12/200	49.015	85.416	167.954	272.234	0.000	0.000	365.145	0.736
AR/U/20/15/200	0.099	79.235	167.449	271.119	0.000	0.000	339.612	0.686
Mittelwert	24.557	82.325	167.701	271.677	0.000	0.000	349.378	0.711
Mittelw. / Beta	0.808	2.708	5.516	8.937	0.000	0.000	11.493	
Tau max. = 100%	7.0 %	23.6 %	48.0 %	77.8 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	5.6 %	18.8 %	38.3 %	62.0 %	0.0 %	0.0 %	79.8 %	
AR/U/20/18/300	0.099	8.262	69.973	168.892	272.385	0.000	276.211	1.046
AR/U/20/9/300	-0.149	1.475	111.221	221.001	361.699	367.313	379.852	1.322
AR/U/20/16/300	0.099	5.678	48.689	178.832	0.000	0.000	387.382	0.858
Mittelwert	0.025	5.138	76.628	169.575	317.042	367.313	347.815	1.075
Mittelw. / Beta	0.001	0.175	2.615	6.470	10.821	12.536	11.871	
Tau max. = 100%	0.0 %	1.5 %	22.0 %	54.5 %	91.2 %	105 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.2 %	17.5 %	43.3 %	72.4 %	83.9 %	79.4 %	
AR/U/20/10/400	0.050	9.846	62.964	156.660	0.000	0.000	260.544	0.868
AR/U/20/1/400	-0.050	10.992	65.289	141.654	280.181	289.701	302.989	1.341
Mittelwert	0.000	10.419	64.126	149.157	280.181	289.701	281.767	1.104
Mittelw. / Beta	0.000	0.405	2.495	5.804	10.902	11.272	10.964	
Tau max. = 100%	0.0 %	3.7 %	22.8 %	52.9 %	93.4 %	102 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	2.4 %	14.6 %	34.1 %	64.0 %	66.1 %	64.3 %	
AR/U/20/6/500	14.707	27.464	98.796	192.097	294.296	294.946	296.623	1.175
AR/U/20/3/500	15.309	24.256	69.034	139.360	241.411	247.040	258.197	1.554
Mittelwert	15.008	25.860	83.915	165.728	267.853	270.993	277.410	1.364
Mittelw. / Beta	0.778	1.340	4.348	8.587	13.878	14.041	14.374	
Tau max. = 100%	5.4 %	9.3 %	30.2 %	59.7 %	96.6 %	97.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	3.4 %	5.9 %	19.2 %	37.8 %	61.2 %	61.9 %	63.3 %	
AR/U/20/1/600	-0.075	4.959	14.541	62.262	176.531	180.019	185.681	1.404
AR/U/20/17/600	-0.025	0.783	6.494	15.965	53.412	61.903	152.457	2.051
Mittelwert	-0.099	2.871	10.518	39.114	114.972	120.961	169.069	1.727
Mittelw. / Beta	-0.008	0.237	0.869	3.233	3.502	3.997	13.373	
Tau max. = 100%	-0.1 %	1.7 %	6.2 %	23.1 %	68.0 %	71.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	0.7 %	2.4 %	8.9 %	26.2 %	27.6 %	38.6 %	
AR/U/20/21/700	0.249	9.370	30.161	63.693	98.371	100.049	101.701	1.145
Mittelwert	0.249	9.370	30.161	63.693	98.371	100.049	101.701	1.145
Mittelw. / Beta	0.025	0.937	3.016	6.369	9.837	10.005	10.170	
Tau max. = 100%	0.2 %	9.2 %	29.7 %	62.6 %	96.7 %	98.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.1 %	2.1 %	6.9 %	14.5 %	22.5 %	22.8 %	23.2 %	

AH/U/2W	G_0 N/mm ²	G_{001} N/mm ²	G_{01} N/mm ²	G_{03} N/mm ²	G_{09} N/mm ²	G_{10} N/mm ²	G_u N/mm ²	v_{max} mm
AH/U/2W/8/20	318.353	324.671	408.833	0.000	0.000	0.000	439.214	0.178
AH/U/2W/19/20	0.000	6.392	197.075	423.560	0.000	0.000	439.227	0.395
AH/U/2W/20/20	0.000	153.603	322.774	0.000	0.000	0.000	446.349	0.239
Mittelwert	318.353	161.556	309.561	423.560	0.000	0.000	439.597	0.271
Mittelw. / Beta	10.370	5.262	10.083	13.797	0.000	0.000	14.319	
Tau max. = 100%	72.4 %	36.8 %	70.4 %	96.4 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	71.7 %	36.4 %	69.7 %	95.4 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
AH/U/2W/2/150	4.546	11.508	254.016	0.000	0.000	0.000	343.519	0.220
AH/U/2W/5/150	131.031	181.814	341.115	0.000	0.000	0.000	363.175	0.145
Mittelwert	67.788	96.661	297.565	0.000	0.000	0.000	353.347	0.182
Mittelw. / Beta	2.223	3.169	9.756	0.000	0.000	0.000	11.585	
Tau max. = 100%	19.2 %	27.4 %	84.2 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	15.4 %	22.0 %	67.7 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	80.4 %	
AH/U/2W/12/200	0.000	43.708	304.995	0.000	0.000	0.000	364.742	0.218
AH/U/2W/15/200	0.000	118.651	222.792	323.631	0.000	0.000	333.612	0.368
Mittelwert	0.000	81.180	263.894	323.631	0.000	0.000	349.177	0.293
Mittelw. / Beta	0.000	2.670	8.681	10.646	0.000	0.000	11.486	
Tau max. = 100%	0.0 %	23.2 %	75.6 %	92.7 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	18.5 %	60.0 %	73.6 %	0.0 %	0.0 %	79.4 %	
AH/U/2W/9/300	17.129	51.746	257.584	363.501	0.000	0.000	379.902	0.471
AH/U/2W/16/300	91.818	138.088	262.614	372.838	0.000	0.000	386.621	0.420
Mittelwert	54.474	94.917	260.099	368.169	0.000	0.000	383.261	0.445
Mittelw. / Beta	1.859	3.239	8.877	12.566	0.000	0.000	13.081	
Tau max. = 100%	14.2 %	24.8 %	67.9 %	96.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	12.4 %	21.6 %	59.2 %	83.8 %	0.0 %	0.0 %	87.2 %	
AH/U/2W/7/400	61.852	86.964	224.578	298.859	0.000	0.000	305.466	0.454
AH/U/2W/10/400	0.149	2.533	72.580	258.410	0.000	0.000	261.907	0.341
Mittelwert	31.001	44.749	148.579	278.634	0.000	0.000	283.686	0.398
Mittelw. / Beta	1.206	1.741	5.781	10.842	0.000	0.000	11.038	
Tau max. = 100%	10.9 %	15.8 %	52.4 %	98.2 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	7.1 %	10.2 %	33.8 %	63.4 %	0.0 %	0.0 %	64.5 %	
AH/U/2W/3/500	-0.025	6.167	163.303	246.809	0.000	0.000	259.634	0.657
AH/U/2W/6/500	-0.025	73.635	193.465	285.873	0.000	0.000	296.673	0.494
Mittelwert	-0.050	39.901	178.384	266.341	0.000	0.000	278.153	0.575
Mittelw. / Beta	-0.003	2.067	9.243	13.800	0.000	0.000	14.412	
Tau max. = 100%	-0.0 %	14.3 %	64.1 %	95.8 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	9.1 %	40.6 %	60.6 %	0.0 %	0.0 %	63.3 %	
AH/U/2W/1/600	27.514	35.852	110.003	173.874	0.000	0.000	187.397	0.602
AH/U/2W/17/600	69.661	74.048	121.127	0.000	0.000	0.000	153.745	0.308
Mittelwert	48.587	54.950	115.565	173.874	0.000	0.000	170.571	0.455
Mittelw. / Beta	4.015	4.541	9.551	14.370	0.000	0.000	14.097	
Tau max. = 100%	28.5 %	32.2 %	67.8 %	101 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	11.1 %	12.5 %	26.3 %	39.6 %	0.0 %	0.0 %	38.8 %	
AH/U/2W/21/700	0.075	14.981	76.339	100.027	0.000	0.000	104.322	0.478
Mittelwert	0.075	14.981	76.339	100.027	0.000	0.000	104.322	0.478
Mittelw. / Beta	0.007	1.498	7.634	10.003	0.000	0.000	10.432	
Tau max. = 100%	0.1 %	14.4 %	73.2 %	95.9 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	3.4 %	17.4 %	22.8 %	0.0 %	0.0 %	23.7 %	

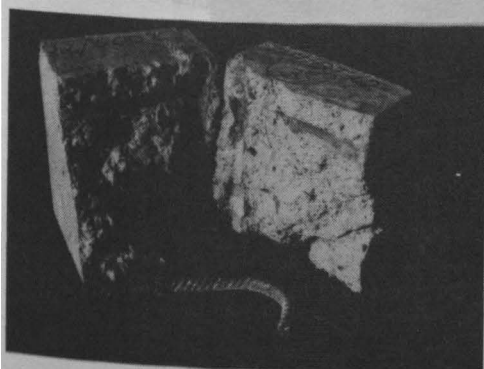
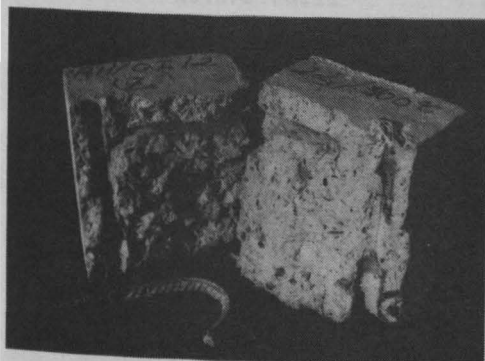
AH/U/2U	G_0 N/mm ²	G_{001} N/mm ²	G_{01} N/mm ²	G_{03} N/mm ²	G_{09} N/mm ²	G_{10} N/mm ²	G_u N/mm ²	V_{max} mm
AH/U/2U/8/20	0.050	0.912	10.530	49.882	302.769	333.339	433.821	1.563
AH/U/2U/19/20	-0.204	4.184	21.580	260.971	430.948	436.863	440.089	1.127
AH/U/2U/20/20	-0.099	17.920	93.111	242.433	0.000	0.000	442.763	0.898
Mittelwert	-0.254	7.672	41.740	184.429	366.858	385.101	438.889	1.196
Mittelw. / Beta	-0.008	0.250	1.360	6.007	11.950	12.544	14.296	
Tau max. = 100%	-0.1 %	1.7 %	9.5 %	42.0 %	83.6 %	87.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.1 %	1.7 %	9.4 %	41.6 %	82.8 %	86.9 %	100.0 %	
AH/U/2U/2/150	54.675	85.094	202.634	316.886	0.000	0.000	344.226	0.431
AH/U/2U/5/150	0.149	1.905	80.927	225.598	0.000	0.000	361.101	0.711
Mittelwert	27.412	43.499	141.781	271.242	0.000	0.000	352.663	0.571
Mittelw. / Beta	0.899	1.426	4.649	8.893	0.000	0.000	11.563	
Tau max. = 100%	7.8 %	12.3 %	40.2 %	76.9 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	6.2 %	9.9 %	32.3 %	61.8 %	0.0 %	0.0 %	80.4 %	
AH/U/2U/12/200	35.373	43.634	145.484	249.062	0.000	0.000	359.589	0.852
AH/U/2U/15/200	19.049	33.785	109.858	199.192	324.264	0.000	326.942	0.947
Mittelwert	27.211	38.709	127.671	224.127	324.264	0.000	343.266	0.899
Mittelw. / Beta	0.895	1.273	4.200	7.373	10.667	0.000	11.292	
Tau max. = 100%	7.9 %	11.3 %	37.2 %	65.3 %	94.5 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	6.2 %	8.8 %	29.1 %	51.1 %	73.9 %	0.0 %	78.2 %	
AH/U/2U/9/300	39.249	54.388	102.730	187.975	340.989	350.901	375.455	1.504
AH/U/2U/16/300	135.427	152.154	208.454	265.910	348.989	359.113	386.472	1.429
AH/U/2U/18/300	125.624	128.807	208.345	256.552	0.000	0.000	275.450	0.621
Mittelwert	98.100	111.783	173.176	236.812	344.989	355.007	345.792	1.185
Mittelw. / Beta	3.348	3.815	5.910	8.082	11.774	12.116	11.802	
Tau max. = 100%	28.4 %	32.3 %	50.1 %	68.5 %	99.8 %	102 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	22.4 %	25.5 %	39.5 %	54.0 %	78.6 %	80.9 %	78.8 %	
AH/U/2U/7/400	0.000	1.236	19.035	75.116	241.144	257.507	307.843	1.795
AH/U/2U/10/400	0.099	0.246	5.394	36.356	160.191	178.317	264.637	1.784
Mittelwert	0.099	0.741	12.214	55.736	200.668	217.912	286.240	1.790
Mittelw. / Beta	0.004	0.029	0.475	2.169	7.808	8.479	11.138	
Tau max. = 100%	0.0 %	0.3 %	4.3 %	19.5 %	70.1 %	76.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	0.2 %	2.8 %	12.7 %	45.7 %	49.7 %	65.2 %	
AH/U/2U/3/500	2.905	4.723	34.922	98.428	227.396	238.145	261.325	1.866
AH/U/2U/6/500	9.828	17.697	67.890	158.216	274.919	284.278	300.239	1.545
Mittelwert	6.366	11.210	51.406	128.322	251.158	261.212	280.782	1.706
Mittelw. / Beta	0.330	0.581	2.664	6.649	13.013	13.534	14.548	
Tau max. = 100%	2.3 %	4.0 %	18.3 %	45.7 %	89.4 %	93.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.5 %	2.6 %	11.7 %	29.2 %	57.2 %	59.5 %	64.0 %	
AH/U/2U/1/600	21.352	23.908	41.706	96.945	175.852	179.011	183.000	1.386
AH/U/2U/17/600	8.664	9.830	17.855	36.923	103.476	114.754	154.223	1.669
Mittelwert	15.008	16.869	29.781	66.934	139.664	146.882	168.611	1.527
Mittelw. / Beta	1.240	1.394	2.461	5.592	11.542	12.139	13.935	
Tau max. = 100%	8.9 %	10.0 %	17.7 %	39.7 %	82.8 %	87.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	3.4 %	3.8 %	6.8 %	15.3 %	31.8 %	33.5 %	38.4 %	
AH/U/2U/21/700	28.375	29.044	43.980	68.727	96.466	98.096	102.049	1.457
Mittelwert	28.375	29.044	43.980	68.727	96.466	98.096	102.049	1.457
Mittelw. / Beta	2.837	2.904	4.398	6.873	9.647	9.810	10.205	
Tau max. = 100%	27.8 %	28.5 %	43.1 %	67.3 %	94.5 %	96.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	6.5 %	6.6 %	10.0 %	15.7 %	22.0 %	22.4 %	23.3 %	

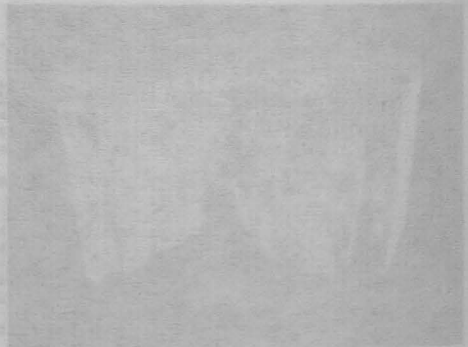
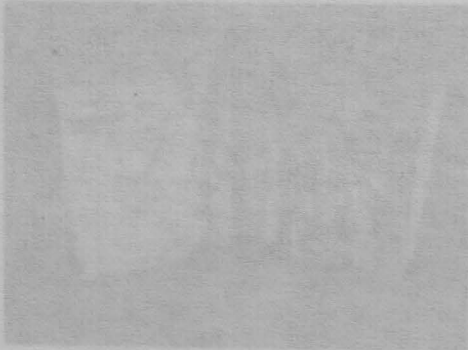


Kernschliff : 3.75

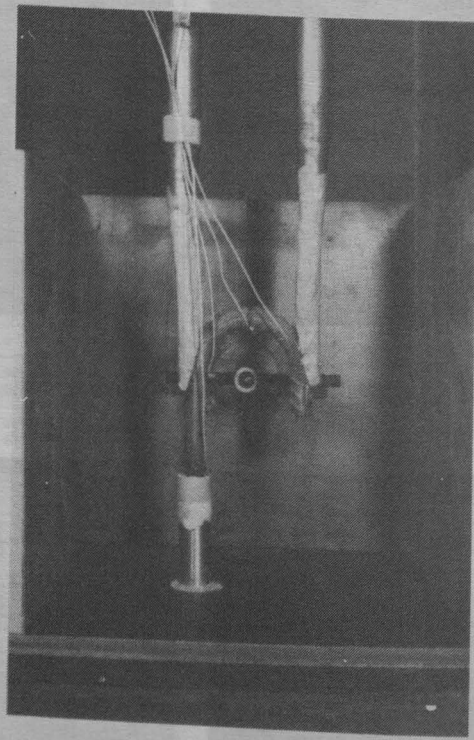
Wasser-Zement-Mörtel : 0.80

Ausbreitungs : 2.25





195 1000 1 1000	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
195 1000 1 1000	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
195 1000 1 1000	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
195 1000 1 1000	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
195 1000 1 1000	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
195 1000 1 1000	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
195 1000 1 1000	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
195 1000 1 1000	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
195 1000 1 1000	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1
195 1000 1 1000	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1



***** ASH/U/2 *****

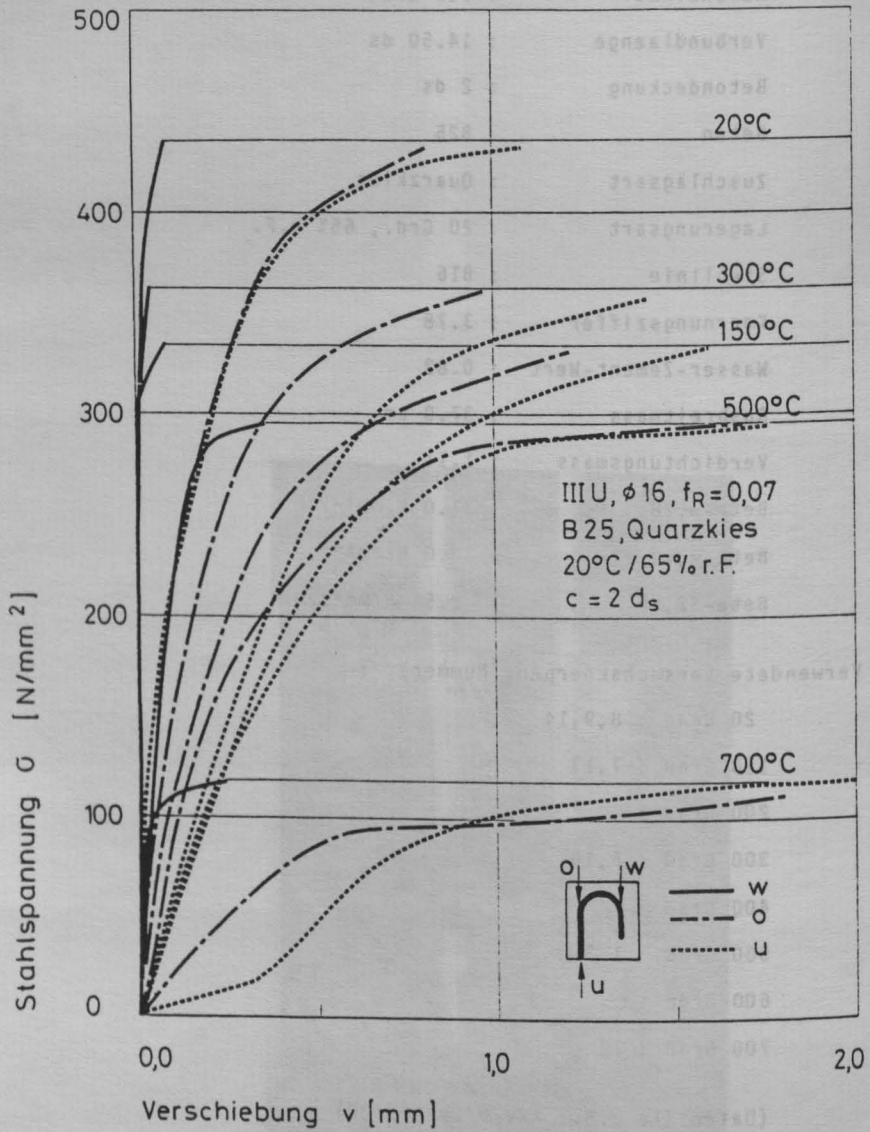
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.07$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Hakenwinkel : 180 Grad
 Verbundlaenge : 14.50 ds
 Betondeckung : 2 ds
 Beton : B25
 Zuschlagsart : Quarzkies
 Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
 Sieblinie : B16
 Koernungsziffer : 3.78
 Wasser-Zement-Wert : 0.82
 Ausbreitmass : 37.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.11
 Beta-w,28 : 31.0 N/mm**2
 Beta-w,VD : 33.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.59 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 8,9,14
 150 Grad : 7,13
 200 Grad :
 300 Grad : 5,10
 400 Grad :
 500 Grad : 1,3
 600 Grad :
 700 Grad : 12

(Datenfile z.B.: AWV/U/2W/12/700)

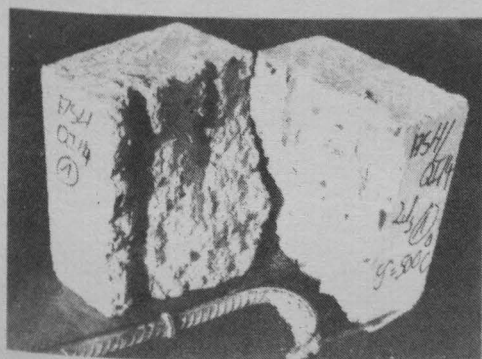
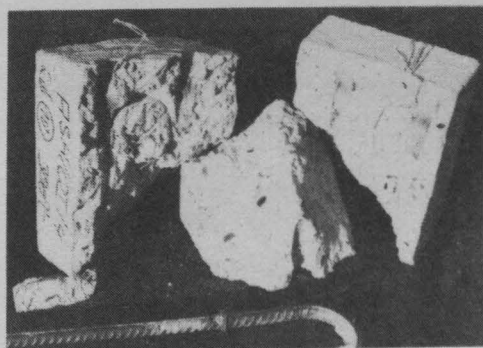
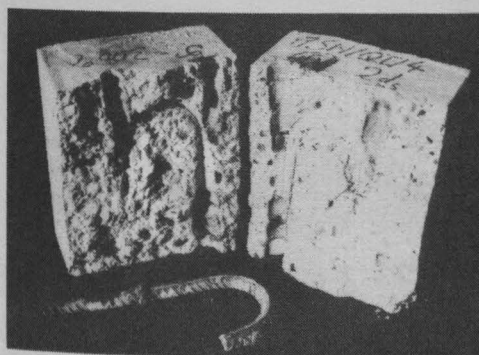
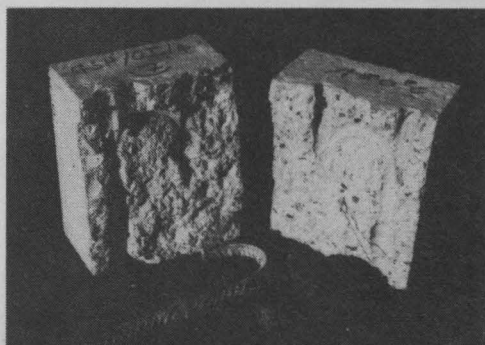
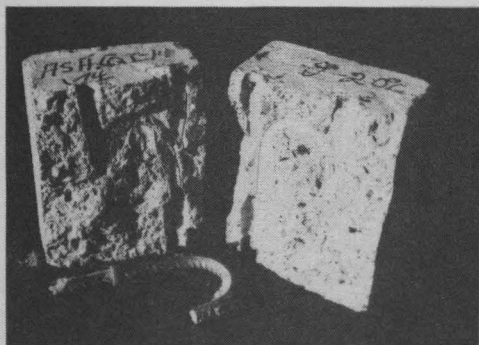
Bemerkungen:



ASH/U/20	G_0 N/mm ²	G_{001} N/mm ²	G_{01} N/mm ²	G_{03} N/mm ²	G_{05} N/mm ²	G_{10} N/mm ²	G_u N/mm ²	v_{max} mm
ASH/U/20/8/20	39.973	120.924	256.760	394.456	0.000	0.000	446.807	0.745
ASH/U/20/9/20	39.312	114.503	265.750	405.180	0.000	0.000	458.226	0.800
ASH/U/20/14/20	24.003	57.963	143.335	257.667	336.188	0.000	401.224	0.931
Mittelwert	34.423	97.792	224.485	352.434	396.188	0.000	435.419	0.825
Varianz	54.427	600.288	2795.5	4509.5	0.000	0.000	606.381	0.006
Streuung	7.377	28.289	52.873	67.153	0.000	0.000	24.625	0.078
Mittelw. / Beta	1.100	3.125	7.172	11.260	12.658	0.000	13.911	
Tau max. = 100%	7.9 %	22.5 %	51.2 %	90.9 %	91.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	7.8 %	22.2 %	51.0 %	90.1 %	90.1 %	0.0 %	99.0 %	
ASH/U/20/7/150	4.237	11.774	93.598	189.373	291.400	299.590	328.310	1.633
ASH/U/20/13/150	15.600	43.653	144.379	257.006	0.000	0.000	391.085	0.763
Mittelwert	11.343	27.716	113.988	223.430	291.400	299.590	329.698	1.198
Varianz	52.584	254.163	644.677	1122.3	0.000	0.000	1.925	0.189
Streuung	7.252	15.343	25.391	33.517	0.000	0.000	1.388	0.435
Mittelw. / Beta	0.370	0.888	3.514	7.163	9.340	9.602	10.567	
Tau max. = 100%	3.5 %	3.4 %	36.1 %	67.3 %	88.4 %	90.3 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.7 %	6.4 %	27.3 %	51.3 %	65.9 %	68.8 %	75.7 %	
ASH/U/20/10/300	39.382	38.538	197.631	346.247	0.000	0.000	381.971	0.600
ASH/U/20/5/300	0.039	28.280	117.025	217.755	313.890	317.517	326.236	1.328
Mittelwert	30.041	63.403	157.328	282.001	313.890	317.517	354.103	0.964
Varianz	835.433	1234.0	1624.3	4127.5	0.000	0.000	776.598	0.132
Streuung	29.942	35.129	40.303	64.246	0.000	0.000	27.868	0.364
Mittelw. / Beta	1.005	2.121	5.262	9.431	10.498	10.619	11.843	
Tau max. = 100%	8.5 %	17.3 %	44.4 %	72.5 %	88.6 %	89.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	6.9 %	14.6 %	36.1 %	64.8 %	72.1 %	72.9 %	81.3 %	
ASH/U/20/1/500	6.843	13.361	63.301	148.776	270.765	282.201	294.375	1.762
ASH/U/20/3/500	0.000	4.034	32.028	106.789	215.506	224.280	244.957	1.600
Mittelwert	6.843	8.722	30.465	127.796	243.635	253.241	269.666	1.681
Varianz	0.000	21.462	339.905	440.517	736.019	833.711	610.535	0.007
Streuung	0.000	4.634	18.437	20.389	27.130	23.361	24.709	0.081
Mittelw. / Beta	0.348	0.443	3.562	6.487	12.367	12.855	13.689	
Tau max. = 100%	2.5 %	3.2 %	13.7 %	47.4 %	90.3 %	93.3 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.6 %	2.0 %	11.6 %	29.3 %	56.0 %	58.2 %	61.9 %	
ASH/U/20/12/700	0.025	5.874	22.261	58.525	95.247	95.177	108.898	1.801
Mittelwert	0.025	5.874	22.261	58.525	95.247	95.177	108.898	1.801
Mittelw. / Beta	0.002	0.576	2.182	5.738	9.338	9.331	10.676	
Tau max. = 100%	0.0 %	5.4 %	20.4 %	53.7 %	87.5 %	87.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.3 %	5.1 %	13.4 %	21.3 %	21.3 %	25.0 %	

ASH/U/2U	G ₀ N/mm ²	G ₀₀₁ N/mm ²	G ₀₁ N/mm ²	G ₀₃ N/mm ²	G ₀₉ N/mm ²	G ₁₀ N/mm ²	G _u N/mm ²	v _{max} mm
ASH/U/2U/8/20	147.707	204.876	316.281	418.418	444.353	0.000	445.693	0.957
ASH/U/2U/9/20	155.740	166.425	264.760	370.314	444.283	441.771	457.973	1.318
ASH/U/2U/14/20	-0.143	2.412	46.538	253.382	398.357	0.000	401.830	0.980
Mittelwert	151.649	125.238	203.193	347.371	428.398	441.771	435.165	1.085
Varianz	16.138	7764.5	13670.7	4765.1	469.426	0.000	580.755	0.027
Streuung	4.017	88.117	116.922	69.030	21.666	0.000	24.099	0.165
Mittelw. / Beta	4.845	4.001	6.683	11.105	13.706	14.114	13.303	
Tau max. = 100%	34.8 %	28.8 %	48.1 %	79.3 %	98.6 %	101 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	34.5 %	28.5 %	47.6 %	79.1 %	97.6 %	100 %	99.0 %	
ASH/U/2U/7/150	0.403	2.120	17.303	116.872	265.857	277.773	329.722	1.927
ASH/U/2U/13/150	-0.050	1.465	105.588	200.019	315.711	322.175	336.492	1.290
Mittelwert	0.353	1.792	61.446	158.445	290.784	299.977	333.107	1.608
Varianz	0.002	0.107	1948.5	1728.3	621.355	492.773	11.458	0.101
Streuung	0.050	0.328	44.143	41.574	24.327	22.199	3.385	0.319
Mittelw. / Beta	0.011	0.057	1.969	5.076	9.320	9.615	10.677	
Tau max. = 100%	0.1 %	0.5 %	18.4 %	47.6 %	87.3 %	90.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.1 %	0.4 %	14.1 %	26.4 %	66.8 %	68.9 %	76.5 %	
ASH/U/2U/10/300	7.227	9.739	120.670	229.847	272.182	375.405	378.434	1.083
ASH/U/2U/5/300	0.093	1.492	22.695	103.473	267.402	299.683	326.395	1.777
Mittelwert	3.663	5.646	71.782	174.663	329.792	337.544	352.385	1.430
Varianz	12.702	17.252	2390.0	4248.9	1796.9	1433.4	678.576	0.120
Streuung	3.564	4.154	48.889	65.184	42.390	37.861	26.050	0.347
Mittelw. / Beta	0.123	0.189	2.401	5.842	11.030	11.289	11.785	
Tau max. = 100%	1.0 %	1.6 %	20.4 %	43.6 %	93.6 %	95.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.8 %	1.3 %	16.5 %	40.1 %	75.8 %	77.6 %	81.0 %	
ASH/U/2U/1/500	0.075	3.069	90.850	184.712	293.392	287.243	295.006	1.687
ASH/U/2U/3/500	0.025	0.990	3.744	54.153	219.942	226.007	242.047	1.560
Mittelwert	0.050	2.030	59.297	119.432	251.967	256.625	268.527	1.623
Varianz	0.001	1.081	1644.5	4261.4	1025.6	937.462	701.164	0.004
Streuung	0.025	1.040	40.553	65.280	32.025	30.618	26.480	0.064
Mittelw. / Beta	0.003	0.103	2.553	6.063	12.790	13.027	13.631	
Tau max. = 100%	0.0 %	0.8 %	18.7 %	44.5 %	93.8 %	95.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	0.5 %	11.6 %	27.4 %	57.9 %	59.0 %	61.7 %	
ASH/U/2U/12/700	0.000	1.458	7.385	14.269	96.227	100.657	119.104	2.393
Mittelwert	0.000	1.458	7.385	14.863	96.227	100.657	119.104	2.393
Mittelw. / Beta	0.000	0.143	0.724	1.458	9.434	9.868	11.677	
Tau max. = 100%	0.0 %	1.2 %	6.2 %	12.5 %	80.8 %	84.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.2 %	1.3 %	1.4 %	1.6 %	

U1/Q II/S1



U1/QII/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

***** U1/Q11/S1 *****

Stahl : IIIU , $f(R)=0.08$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B55
 Zuschlagsart : QUARZKIES
 Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.84
 Wasser-Zement-Wert : 0.45
 Ausbreitmass : 35.1 cm
 Verdichtungsmass : 1.12
 Beta-W,28 : 61.8 N/mm**2
 Beta-W,VD : 65.5 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 4.11 N/mm**2

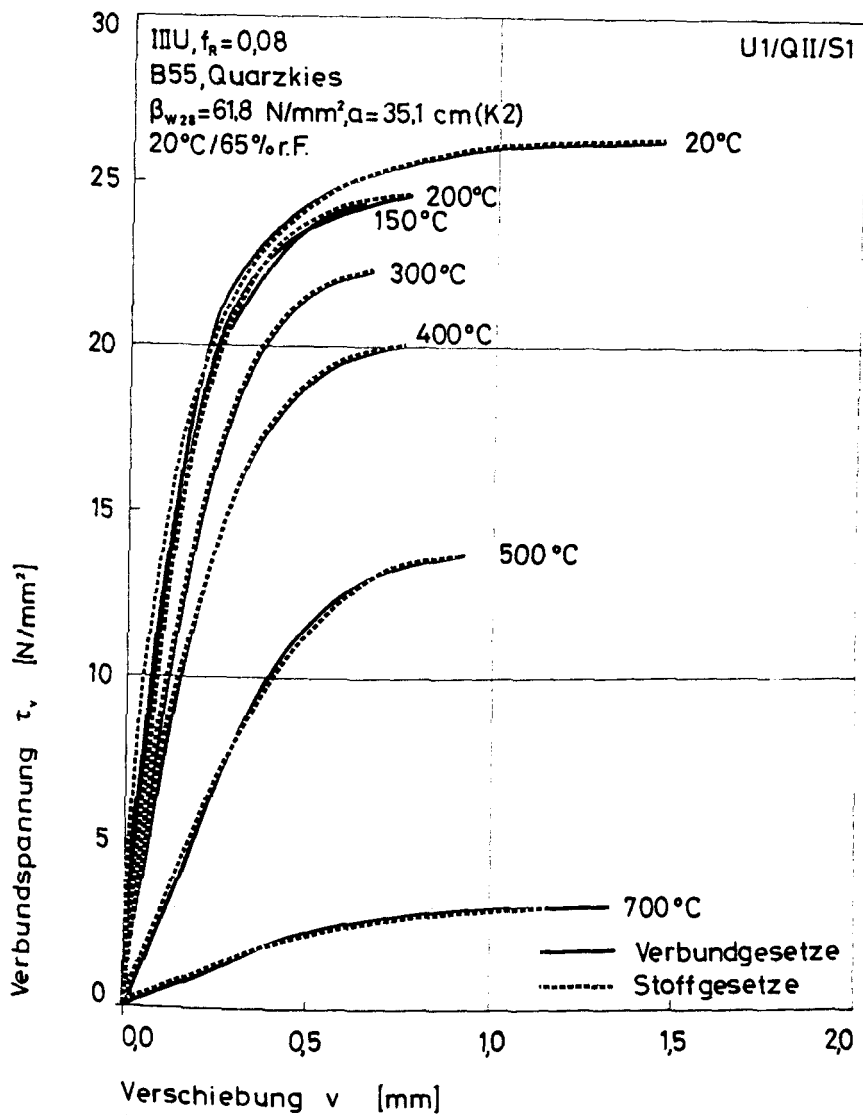
Ausziehversuche :

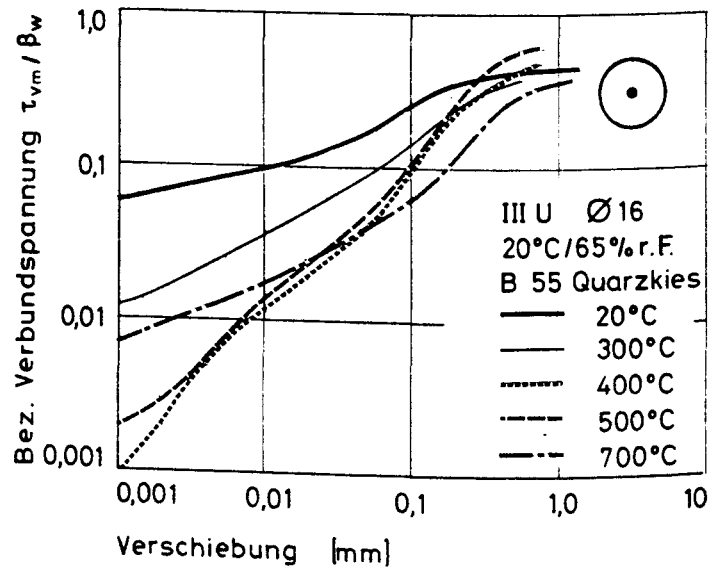
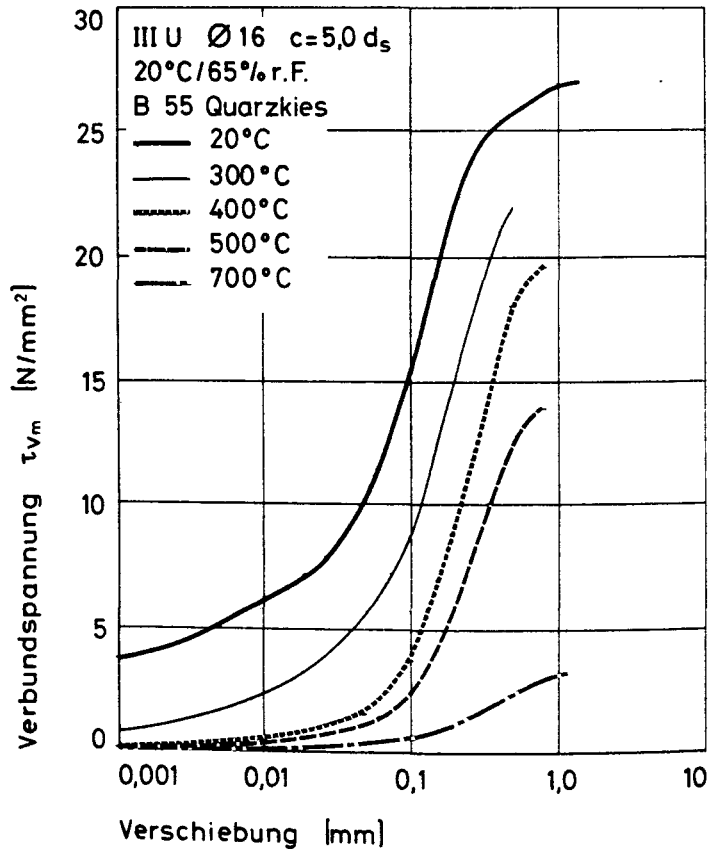
Inst. Kriechversuche :

Temperatur	Nummer	Anzahl	Belastungsgrad	Anzahl
20 GRD :	5,6,15,25,43,47,54,67	8	0.25 P/P(20) :	2
150 Grd :	34,44,56	3	0.35 P/P(20) :	4
200 Grd :	48,57	2	0.50 P/P(20) :	2
300 Grd :	50,51	2	0.60 P/P(20) :	2
400 Grd :	66,76,78	3	0.70 P/P(20) :	3
500 Grd :	18,20,21,80	4		
600 Grd :				
700 Grd :	61,75	2		

(Datenfile z.B.: U1/Q11/S1/50/300)

Bemerkungen :

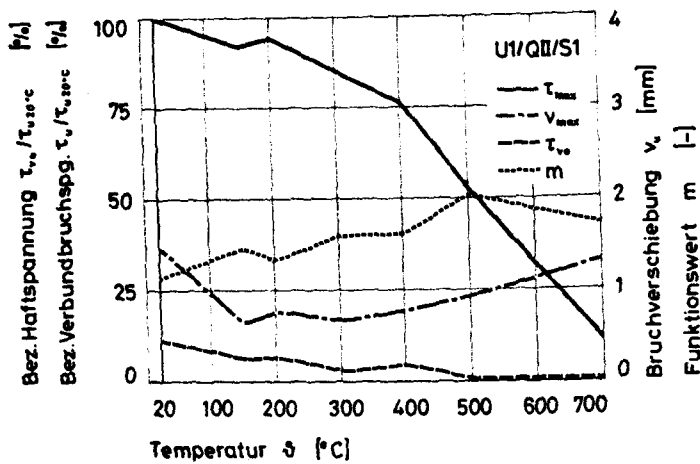




U1/QII/S1	τ_0 N/mm ²	τ_{q01} N/mm ²	τ_{q1} N/mm ²	τ_{q3} N/mm ²	τ_{q5} N/mm ²	τ_{1p} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
U1/QII/S1/5/20	3.435	4.264	10.991	21.660	26.477	0.000	26.496	0.952
U1/QII/S1/6/20	5.025	6.663	17.380	24.626	27.170	27.291	27.461	1.226
U1/QII/S1/15/20	0.745	5.159	13.105	23.529	26.254	26.386	26.354	1.420
U1/QII/S1/25/20	2.835	3.808	13.635	23.258	25.862	26.038	26.350	1.442
U1/QII/S1/36/20	6.031	11.423	22.313	26.743	28.696	28.767	28.836	1.253
U1/QII/S1/43/20	3.954	4.786	14.020	23.401	27.239	27.368	27.454	1.148
U1/QII/S1/47/20	3.984	4.753	12.737	21.698	24.359	24.528	24.773	1.460
U1/QII/S1/54/20	3.979	4.905	14.156	22.770	25.943	26.100	26.307	1.989
U1/QII/S1/63/20	3.507	4.096	9.413	19.205	23.584	23.692	23.811	1.973
U1/QII/S1/67/20	2.110	2.881	10.579	20.351	24.465	24.670	25.165	2.070
U1/QII/S1/74/20	0.301	0.763	6.658	18.655	25.441	25.548	25.582	1.074
Mittelwert	3.264	4.864	13.181	22.409	25.954	26.039	26.254	1.455
Varianz	2.636	6.289	15.582	4.940	1.969	2.081	1.775	0.138
Streuung	1.623	2.508	3.947	2.223	1.403	1.442	1.332	0.372
Mittelw. / Beta	0.052	0.078	0.212	0.360	0.417	0.419	0.422	
Tau max. = 100%	12.4 %	18.5 %	50.2 %	85.4 %	98.9 %	99.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	12.3 %	18.3 %	49.7 %	84.5 %	97.9 %	98.2 %	99.0 %	
U1/QII/S1/34/15	2.784	4.302	16.703	24.285	0.000	0.000	26.966	0.737
U1/QII/S1/44/15	1.131	2.134	10.837	21.223	0.000	0.000	24.212	0.551
U1/QII/S1/56/15	0.793	1.625	6.960	17.388	0.000	0.000	21.319	0.611
U1/QII/S1/48/22	1.801	3.684	12.960	23.172	0.000	0.000	25.799	0.790
U1/QII/S1/57/22	1.607	2.855	10.346	19.365	0.000	0.000	23.568	0.738
Mittelwert	1.704	3.269	11.653	21.569	0.000	0.000	24.584	0.764
Varianz	0.009	0.172	1.708	2.571	0.000	0.000	1.477	0.001
Streuung	0.037	0.415	1.307	1.604	0.000	0.000	1.216	0.026
Mittelw. / Beta	0.028	0.054	0.194	0.358	0.000	0.000	0.428	
Tau max. = 100%	6.9 %	13.9 %	47.4 %	87.7 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	6.5 %	12.5 %	44.4 %	82.2 %	0.0 %	0.0 %	93.6 %	
U1/QII/S1/69/30	1.982	3.050	8.972	20.311	0.000	0.000	21.074	0.335
U1/QII/S1/50/30	0.163	2.196	8.863	17.502	0.000	0.000	21.046	0.651
U1/QII/S1/51/30	1.147	2.011	8.755	19.275	0.000	0.000	23.495	0.680
Mittelwert	1.100	2.419	8.863	19.029	0.000	0.000	21.872	0.555
Varianz	0.549	0.205	0.008	1.345	0.000	0.000	1.318	0.024
Streuung	0.741	0.453	0.083	1.160	0.000	0.000	1.148	0.156
Mittelw. / Beta	0.018	0.039	0.143	0.308	0.000	0.000	0.354	
Tau max. = 100%	5.0 %	11.1 %	40.5 %	87.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	4.2 %	9.2 %	35.8 %	72.5 %	0.0 %	0.0 %	83.3 %	
U1/QII/S1/66/40	0.034	0.461	3.596	12.842	0.000	0.000	19.500	0.901
U1/QII/S1/76/40	3.458	4.535	11.636	17.493	0.000	0.000	19.369	0.549
U1/QII/S1/78/40	0.041	0.185	6.977	16.988	0.000	0.000	21.141	0.802
Mittelwert	1.177	1.727	7.403	15.775	0.000	0.000	20.004	0.751
Varianz	2.600	3.955	10.864	4.342	0.000	0.000	0.650	0.022
Streuung	1.612	1.989	3.296	2.084	0.000	0.000	0.806	0.148
Mittelw. / Beta	0.027	0.039	0.169	0.359	0.000	0.000	0.456	
Tau max. = 100%	5.9 %	8.6 %	37.0 %	78.9 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	4.5 %	6.6 %	28.2 %	60.1 %	0.0 %	0.0 %	76.2 %	
U1/QII/S1/18/50	0.032	0.576	2.100	7.047	0.000	0.000	12.819	0.916
U1/QII/S1/20/50	0.025	0.215	2.262	8.467	0.000	0.000	14.026	0.904
U1/QII/S1/21/50	0.034	0.156	2.205	8.833	16.175	16.355	16.448	1.107
U1/QII/S1/22/50	0.360	0.545	2.902	10.128	0.000	0.000	14.407	0.530
U1/QII/S1/80/50	0.258	0.612	2.798	8.104	0.000	0.000	11.670	0.757
Mittelwert	0.142	0.421	2.453	8.516	16.175	16.355	13.874	0.843
Varianz	0.020	0.038	0.109	1.006	0.000	0.000	2.581	0.037
Streuung	0.140	0.194	0.330	1.003	0.000	0.000	1.606	0.192
Mittelw. / Beta	0.006	0.017	0.101	0.352	0.668	0.676	0.573	
Tau max. = 100%	1.0 %	3.0 %	17.7 %	61.4 %	116 %	117 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.5 %	1.6 %	9.3 %	32.4 %	61.6 %	62.3 %	52.8 %	
U1/QII/S1/61/70	0.148	0.206	0.476	1.272	2.111	2.114	2.116	1.036
U1/QII/S1/75/70	0.021	0.162	0.568	1.663	3.898	4.001	4.135	1.529
Mittelwert	0.085	0.184	0.522	1.468	3.004	3.057	3.126	1.282
Varianz	0.004	0.000	0.002	0.038	0.798	0.890	1.019	0.061
Streuung	0.064	0.022	0.046	0.196	0.894	0.944	1.010	0.247
Mittelw. / Beta	0.010	0.021	0.060	0.168	0.345	0.351	0.359	
Tau max. = 100%	2.7 %	5.9 %	16.7 %	47.0 %	96.1 %	97.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.3 %	0.7 %	2.0 %	5.6 %	11.4 %	11.6 %	11.9 %	

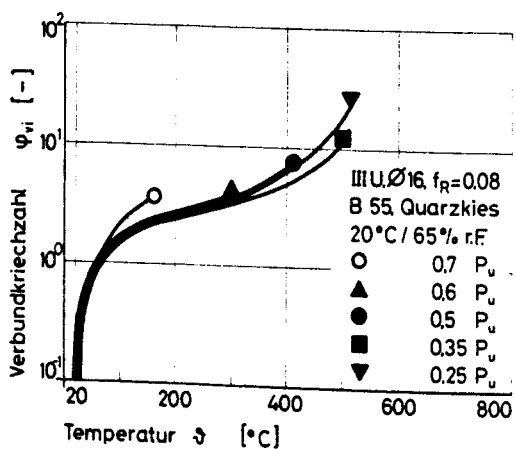
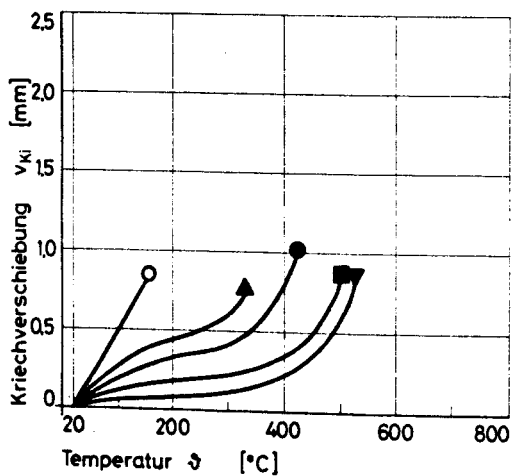
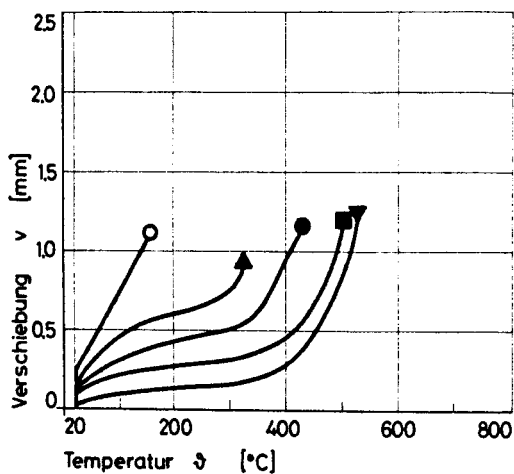
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie U1/QII/S1
für die Verbundfunktion:

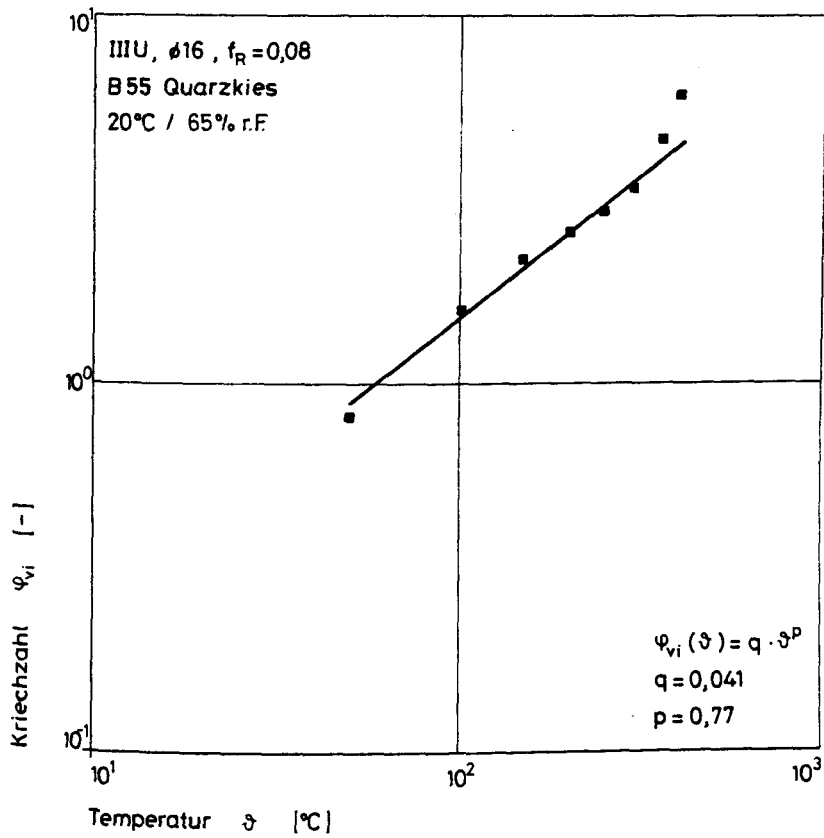
$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}} \right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$

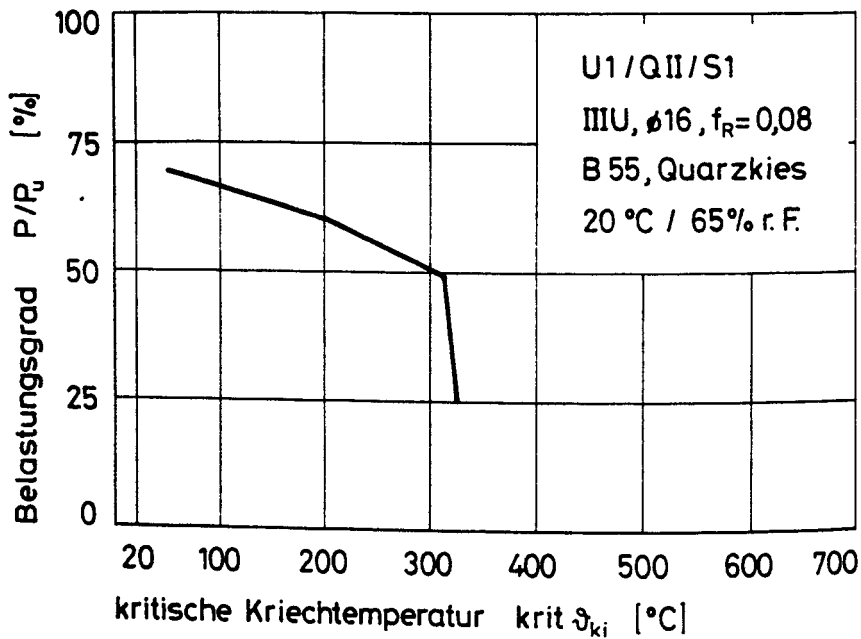


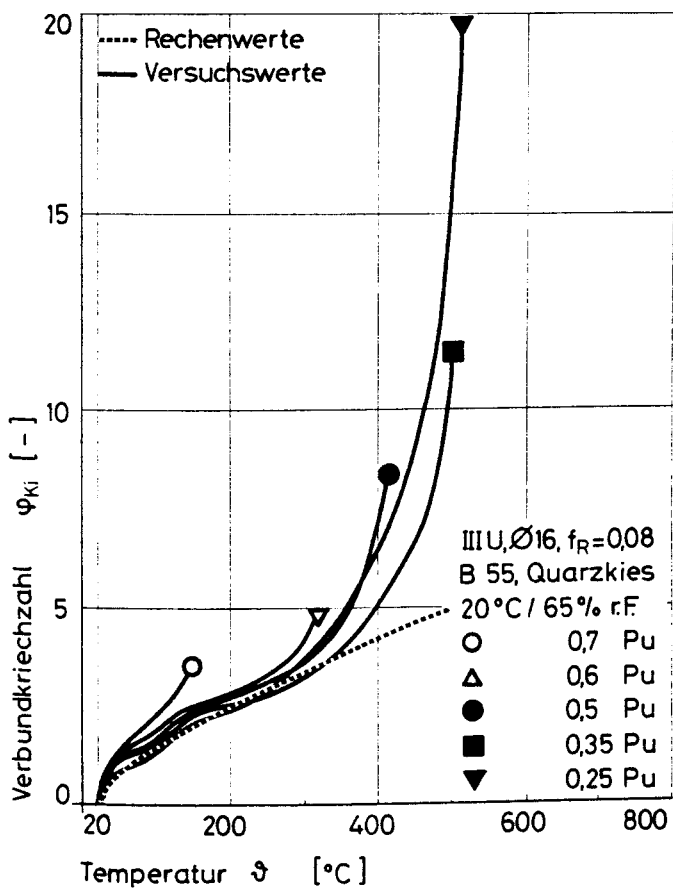
U1/QII/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	2,93	26,24	1,46	1,12
150 °C	1,59	24,16	0,64	1,44
200 °C	1,70	24,58	0,76	1,31
300 °C	0,66	22,27	0,66	1,59
400 °C	1,17	20,00	0,75	1,59
500 °C	0,09	13,74	0,92	2,05
600 °C	-	-	-	-
700 °C	0,09	3,12	1,33	1,71

2. Instationäre Kriechversuche









3. Exzentrische Ausziehversuche

***** AE/QII/3D *****

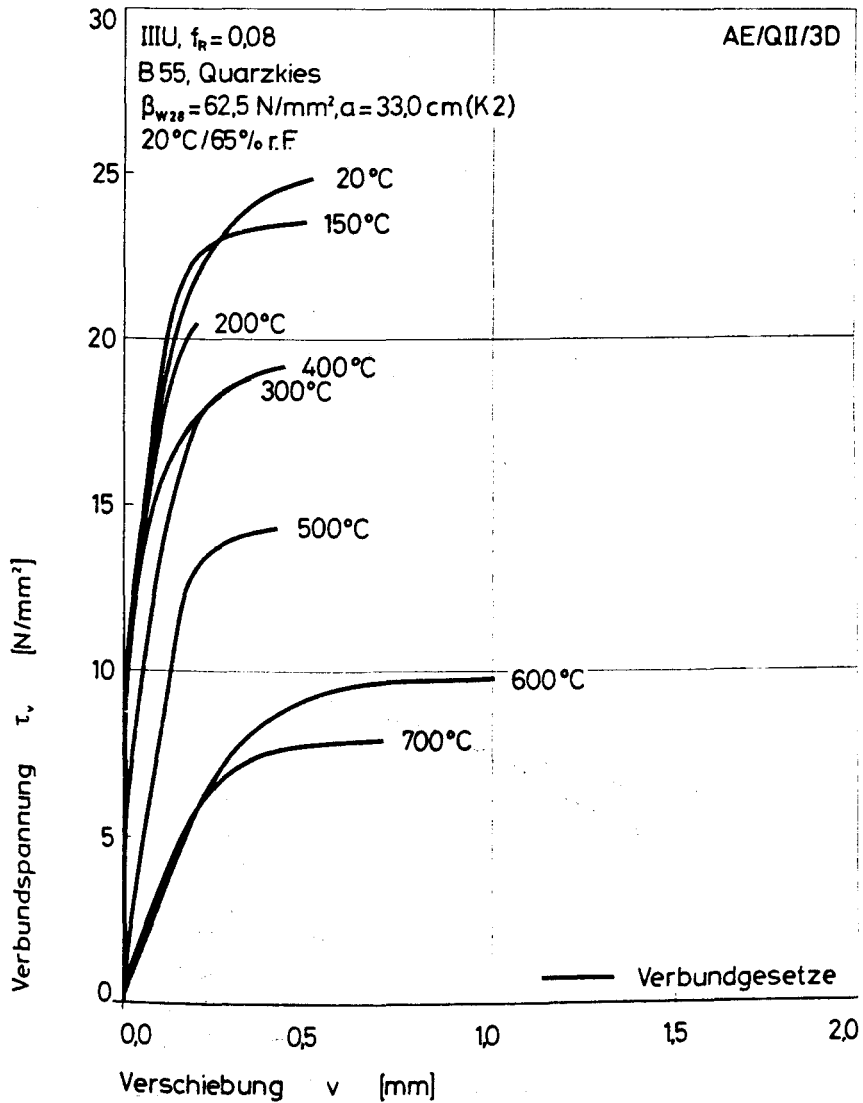
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betondeckung : 3 ds
Beton : B55
Zuschlagsart : Quarzkies
Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
Sieblinie : A16/B16
Koernungsziffer : 3.87
Wasser-Zement-Wert : 0.44
Ausbreitmass : 33.0 cm
Verdichtungsmass : 1.14
Beta-w,28 : 62.5 N/mm**2
Beta-w,VD : 65.5 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 4.35 N/mm**2

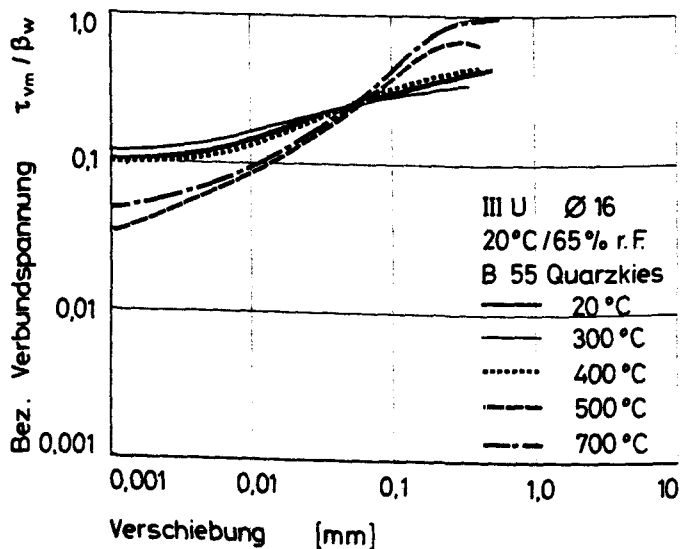
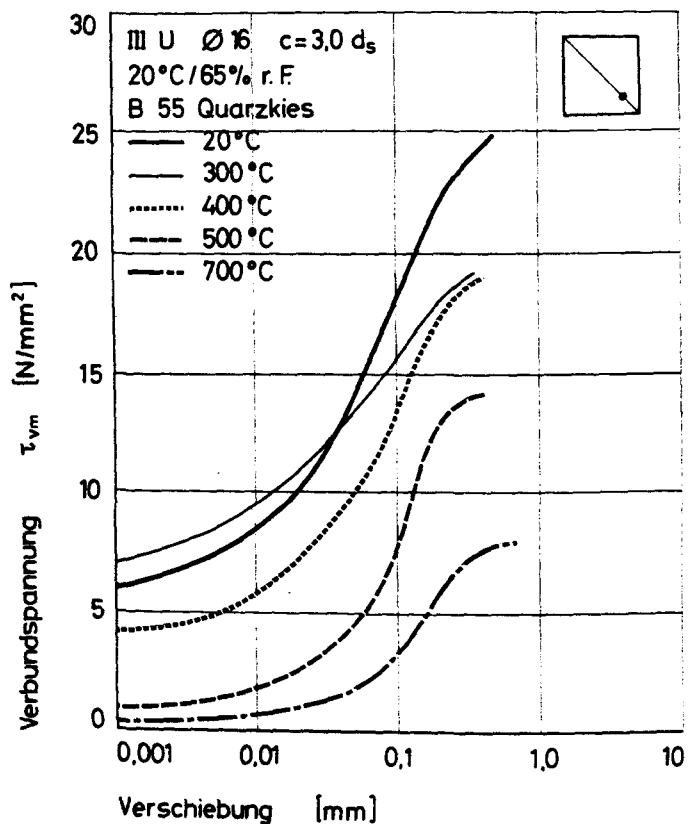
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 1,5
150 Grad : 11
200 Grad : 4
300 Grad : 14
400 Grad : 2,8,9
500 Grad : 6,7
600 Grad : 16
700 Grad : 3,10

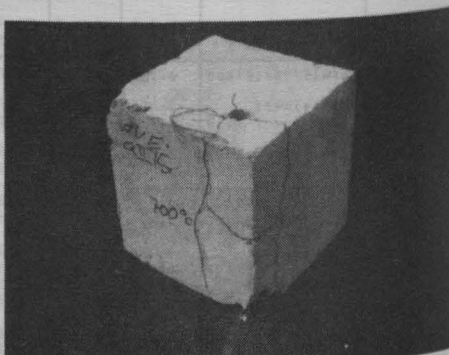
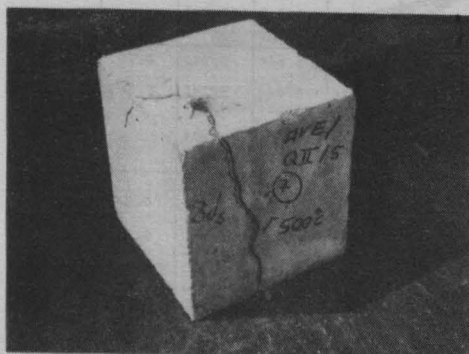
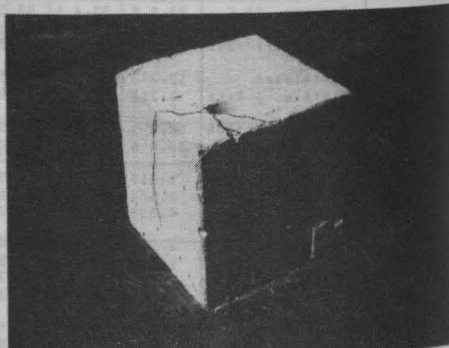
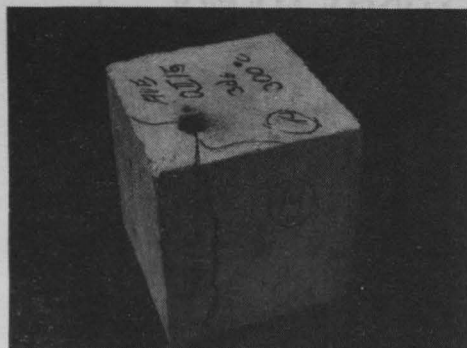
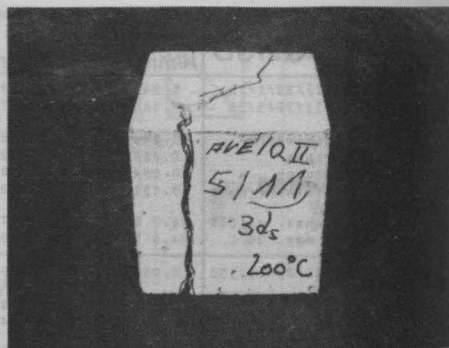
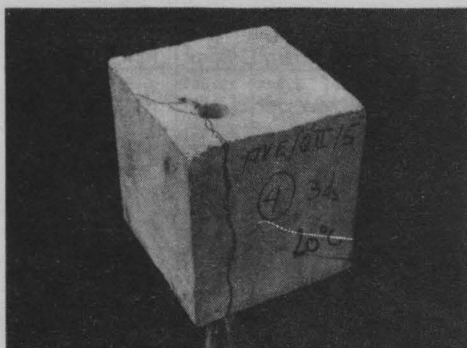
(Datenfile z.B.: AE/QII/3D/6/500)

Bemerkungen:





AE/QII/3D	τ_0 N/mm ²	τ_{q01} N/mm ²	τ_{q1} N/mm ²	τ_{q3} N/mm ²	τ_{q5} N/mm ²	τ_{q10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
AE/QII/3D/1/20	5.948	10.086	20.907	25.380	0.000	0.000	25.860	0.617
AE/QII/3D/5/20	5.940	6.850	14.792	21.592	0.000	0.000	23.260	0.421
Mittelwert	5.944	8.473	17.850	23.486	0.000	0.000	24.560	0.519
Varianz	0.000	2.634	9.348	3.587	0.000	0.000	1.690	0.010
Streuung	0.004	1.623	3.058	1.894	0.000	0.000	1.300	0.098
Mittelw. / Beta	0.101	0.144	0.303	0.398	0.000	0.000	0.416	
Tau max. = 100%	24.2 %	34.5 %	72.7 %	95.6 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	24.0 %	34.2 %	72.0 %	94.7 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
AE/QII/3D/11/150	5.003	7.392	19.010	22.661	0.000	0.000	23.477	0.502
Mittelwert	5.003	7.992	19.010	22.661	0.000	0.000	23.477	0.502
Mittelw. / Beta	0.106	0.169	0.403	0.480	0.000	0.000	0.497	
Tau max. = 100%	21.3 %	34.0 %	81.0 %	96.5 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	20.4 %	32.5 %	77.4 %	92.3 %	0.0 %	0.0 %	95.6 %	
AE/QII/3D/4/200	6.364	8.209	17.072	0.000	0.000	0.000	20.440	0.206
Mittelwert	6.364	8.209	17.072	0.000	0.000	0.000	20.440	0.206
Mittelw. / Beta	0.112	0.145	0.302	0.000	0.000	0.000	0.361	
Tau max. = 100%	31.1 %	40.2 %	89.5 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	25.9 %	33.4 %	69.5 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	89.2 %	
AE/QII/3D/14/300	12.370	16.054	21.565	0.000	0.000	0.000	21.956	0.150
Mittelwert	12.370	16.054	21.565	0.000	0.000	0.000	21.956	0.150
Mittelw. / Beta	0.213	0.276	0.371	0.000	0.000	0.000	0.378	
Tau max. = 100%	56.3 %	73.1 %	98.2 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	50.4 %	65.4 %	87.8 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	89.4 %	
AE/QII/3D/2/400	1.817	2.981	9.581	14.390	0.000	0.000	16.109	0.541
AE/QII/3D/8/400	3.974	6.165	15.116	17.909	0.000	0.000	18.454	0.461
AE/QII/3D/3/400	4.339	5.273	11.256	19.272	0.000	0.000	19.829	0.427
Mittelwert	3.375	4.806	11.984	17.390	0.000	0.000	18.131	0.476
Varianz	1.235	1.799	5.371	3.190	0.000	0.000	2.359	0.002
Streuung	1.111	1.341	2.318	1.786	0.000	0.000	1.536	0.048
Mittelw. / Beta	0.082	0.116	0.290	0.421	0.000	0.000	0.439	
Tau max. = 100%	18.6 %	26.5 %	66.1 %	95.9 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	13.7 %	19.6 %	48.8 %	70.8 %	0.0 %	0.0 %	73.8 %	
AE/QII/3D/6/500	0.649	1.568	9.819	14.771	0.000	0.000	15.233	0.362
AE/QII/3D/7/500	0.917	1.949	5.644	0.000	0.000	0.000	13.185	0.298
Mittelwert	0.783	1.758	7.732	14.771	0.000	0.000	14.209	0.430
Varianz	0.018	0.036	4.358	0.000	0.000	0.000	1.049	0.017
Streuung	0.134	0.121	2.088	0.000	0.000	0.000	1.024	0.132
Mittelw. / Beta	0.035	0.079	0.345	0.653	0.000	0.000	0.634	
Tau max. = 100%	5.5 %	12.4 %	54.4 %	91.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	3.2 %	7.2 %	31.5 %	60.1 %	0.0 %	0.0 %	57.9 %	
AE/QII/3D/16/600	0.183	0.370	2.786	7.482	9.736	0.000	9.740	0.792
Mittelwert	0.183	0.370	2.786	7.482	9.736	0.000	9.740	0.792
Mittelw. / Beta	0.018	0.037	0.279	0.748	0.974	0.000	0.374	
Tau max. = 100%	1.9 %	3.8 %	28.6 %	76.8 %	100 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.7 %	1.5 %	11.3 %	30.5 %	99.6 %	0.0 %	99.7 %	
AE/QII/3D/3/700	0.386	0.673	2.916	5.800	0.000	0.000	7.556	0.726
AE/QII/3D/10/700	0.430	0.803	3.635	7.453	0.000	0.000	8.101	0.542
Mittelwert	0.408	0.738	3.276	7.131	0.000	0.000	7.829	0.634
Varianz	0.000	0.004	0.123	0.110	0.000	0.000	0.074	0.008
Streuung	0.022	0.065	0.360	0.332	0.000	0.000	0.273	0.092
Mittelw. / Beta	0.049	0.089	0.395	0.859	0.000	0.000	0.943	
Tau max. = 100%	5.2 %	9.4 %	41.8 %	91.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.7 %	3.0 %	13.3 %	29.0 %	0.0 %	0.0 %	31.9 %	



***** AE/QII/2D *****

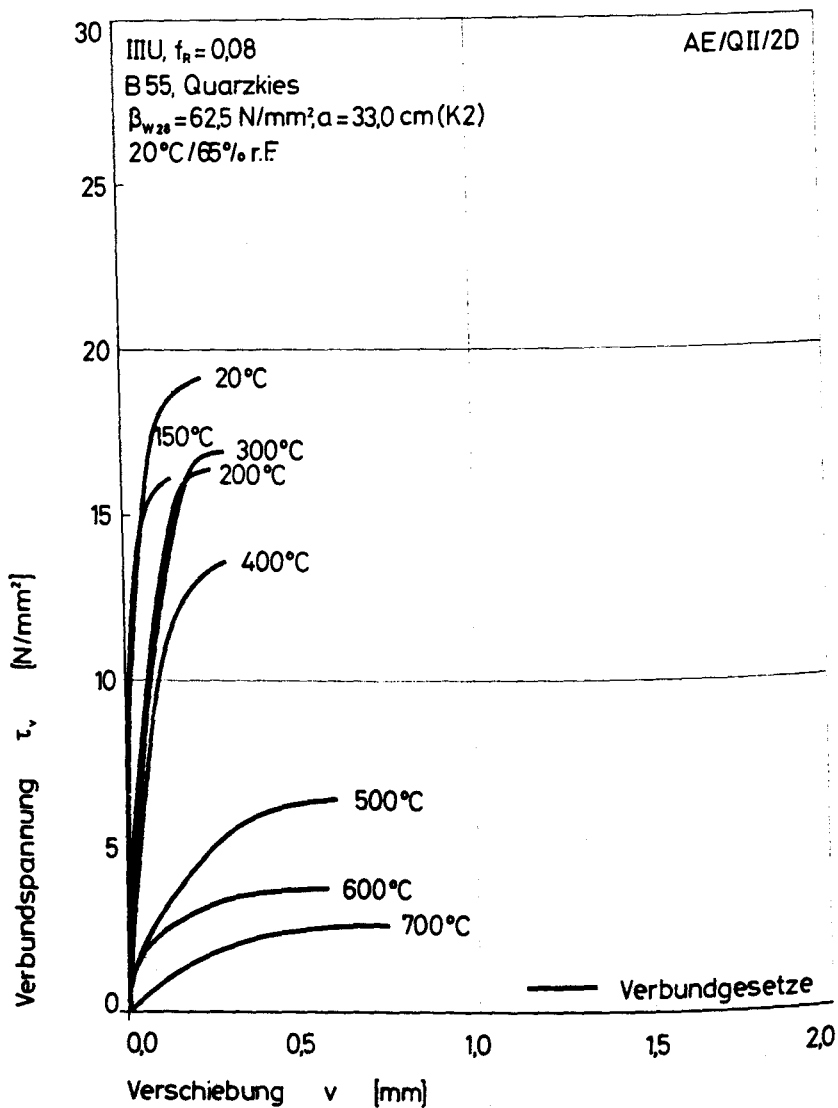
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betondeckung : 2 ds
 Beton : B55
 Zuschlagsart : Quarzkies
 Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.87
 Wasser-Zement-Wert : 0.44
 Ausbreitmass : 33.0 cm
 Verdichtungsmaass : 1.14
 Beta-w,28 : 62.5 N/mm**2
 Beta-w,VD : 65.5 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 4.35 N/mm**2

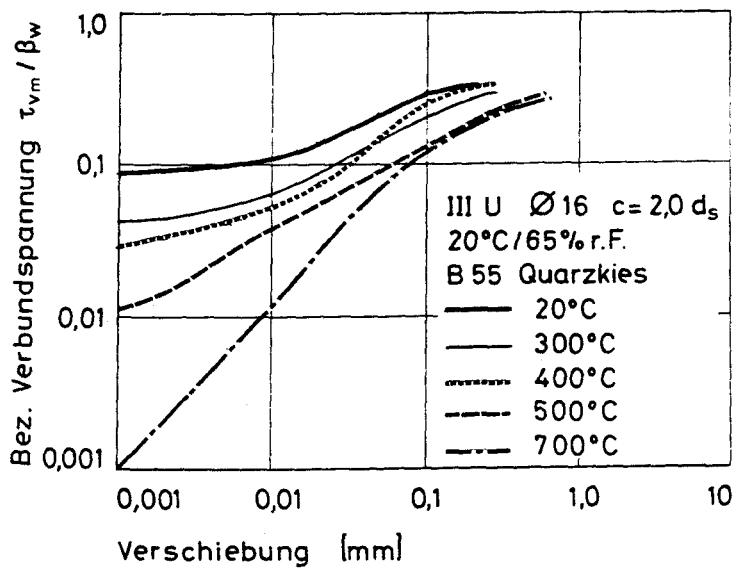
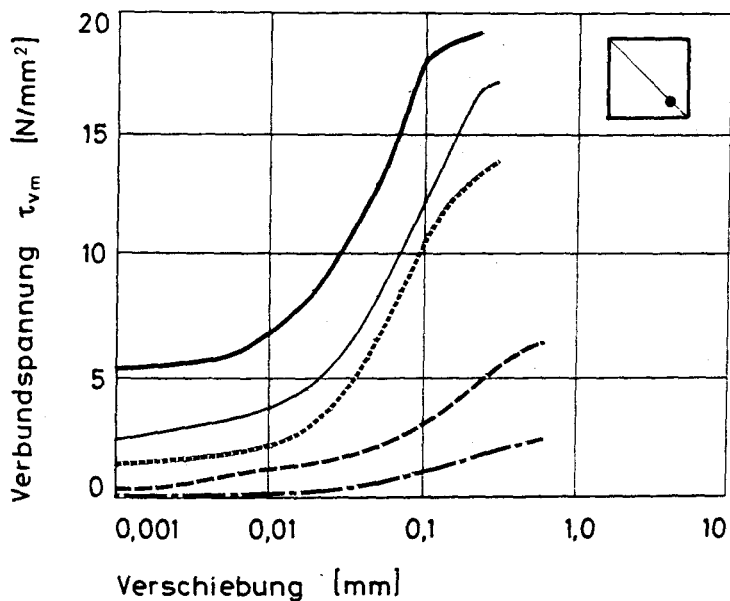
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 1,10,21,22
 150 Grad : 25
 200 Grad : 3,4,26
 300 Grad : 8,11
 400 Grad : 24,27
 500 Grad : 2,9
 600 Grad : 23
 700 Grad : 7

(Datenfile z.B.: AE/QII/2D/7/700)

Bemerkungen:



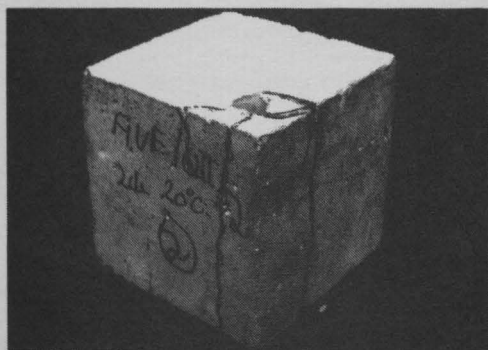


AE/QII/2D	τ_0 N/mm ²	τ_{q01} N/mm ²	τ_{q1} N/mm ²	τ_{q2} N/mm ²	τ_{q3} N/mm ²	τ_{q4} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
AE/QII/2D/1/20	8.191	10.563	19.553	0.000	0.000	0.000	20.999	0.254
AE/QII/2D/10/20	0.993	2.021	16.333	0.000	0.000	0.000	19.472	0.286
AE/QII/2D/21/20	4.965	7.554	17.333	0.000	0.000	0.000	17.436	0.201
AE/QII/2D/22/20	14.621	17.843	18.598	0.000	0.000	0.000	18.611	0.131
Mittelwert	7.193	9.497	17.954	0.000	0.000	0.000	19.130	0.218
Varianz	24.894	32.625	1.496	0.000	0.000	0.000	1.687	0.003
Streuung	4.989	5.712	1.233	0.000	0.000	0.000	1.299	0.059
Mittelw. / Beta	0.122	0.161	0.304	0.000	0.000	0.000	0.324	
Tau max. = 100%	37.6 %	49.6 %	99.9 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	37.2 %	49.2 %	92.9 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
AE/QII/2D/25/150	7.188	10.008	16.037	0.000	0.000	0.000	16.094	0.126
Mittelwert	7.188	10.008	16.037	0.000	0.000	0.000	16.094	0.126
Mittelw. / Beta	0.152	0.212	0.340	0.000	0.000	0.000	0.341	
Tau max. = 100%	44.7 %	62.2 %	99.6 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	37.6 %	52.3 %	89.8 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	84.1 %	
AE/QII/2D/3/200	3.141	3.368	12.964	0.000	0.000	0.000	17.284	0.245
AE/QII/2D/4/200	1.486	4.565	13.234	0.000	0.000	0.000	16.698	0.230
AE/QII/2D/26/200	0.235	1.665	11.994	0.000	0.000	0.000	14.960	0.205
Mittelwert	1.620	3.399	12.731	0.000	0.000	0.000	16.314	0.227
Varianz	1.417	1.564	0.283	0.000	0.000	0.000	0.974	0.000
Streuung	1.190	1.251	0.532	0.000	0.000	0.000	0.987	0.016
Mittelw. / Beta	0.029	0.060	0.225	0.000	0.000	0.000	0.288	
Tau max. = 100%	9.9 %	20.8 %	75.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	8.5 %	17.8 %	66.5 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	85.3 %	
AE/QII/2D/8/300	3.664	6.011	16.118	0.000	0.000	0.000	17.613	0.250
AE/QII/2D/11/300	1.122	1.794	8.343	16.182	0.000	0.000	16.279	0.324
Mittelwert	2.393	3.902	12.230	16.182	0.000	0.000	16.946	0.287
Varianz	1.615	4.446	15.113	0.000	0.000	0.000	0.445	0.001
Streuung	1.271	2.109	3.888	0.000	0.000	0.000	0.667	0.037
Mittelw. / Beta	0.041	0.067	0.211	0.279	0.000	0.000	0.292	
Tau max. = 100%	14.1 %	23.0 %	72.2 %	95.5 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	12.5 %	20.4 %	63.9 %	84.6 %	0.0 %	0.0 %	88.6 %	
AE/QII/2D/24/400	0.897	1.917	9.156	13.565	0.000	0.000	13.593	0.325
AE/QII/2D/27/400	1.379	2.357	11.496	0.000	0.000	0.000	13.512	0.266
Mittelwert	1.138	2.137	10.326	13.565	0.000	0.000	13.553	0.295
Varianz	0.058	0.048	1.369	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001
Streuung	0.241	0.220	1.170	0.000	0.000	0.000	0.041	0.030
Mittelw. / Beta	0.028	0.052	0.250	0.328	0.000	0.000	0.328	
Tau max. = 100%	8.4 %	15.8 %	76.2 %	100 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	5.9 %	11.2 %	54.0 %	70.9 %	0.0 %	0.0 %	70.8 %	
AE/QII/2D/2/500	0.418	0.799	2.709	5.521	0.000	0.000	6.626	0.638
AE/QII/2D/9/500	0.000	1.475	3.254	5.421	0.000	0.000	6.117	0.564
Mittelwert	0.418	1.137	2.981	5.471	0.000	0.000	6.371	0.601
Varianz	0.000	0.114	0.074	0.003	0.000	0.000	0.065	0.001
Streuung	0.000	0.338	0.273	0.050	0.000	0.000	0.255	0.037
Mittelw. / Beta	0.019	0.051	0.133	0.244	0.000	0.000	0.284	
Tau max. = 100%	6.6 %	17.8 %	46.8 %	85.9 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.2 %	5.9 %	15.6 %	28.6 %	0.0 %	0.0 %	33.3 %	
AE/QII/2D/23/600	0.392	1.206	2.349	3.517	0.000	0.000	3.687	0.566
Mittelwert	0.392	1.206	2.349	3.517	0.000	0.000	3.687	0.566
Mittelw. / Beta	0.037	0.114	0.222	0.332	0.000	0.000	0.348	
Tau max. = 100%	10.6 %	32.7 %	63.7 %	95.4 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.0 %	6.3 %	12.3 %	13.4 %	0.0 %	0.0 %	19.3 %	
AE/QII/2D/7/700	-0.000	0.113	0.906	2.006	0.000	0.000	2.601	0.755
Mittelwert	-0.000	0.113	0.906	2.006	0.000	0.000	2.601	0.755
Mittelw. / Beta	-0.000	0.014	0.109	0.242	0.000	0.000	0.313	
Tau max. = 100%	-0.0 %	4.3 %	34.8 %	77.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	0.6 %	4.7 %	10.5 %	0.0 %	0.0 %	13.6 %	

***** AEVOI\10 *****

80.0 = (R) , 0.08

10281



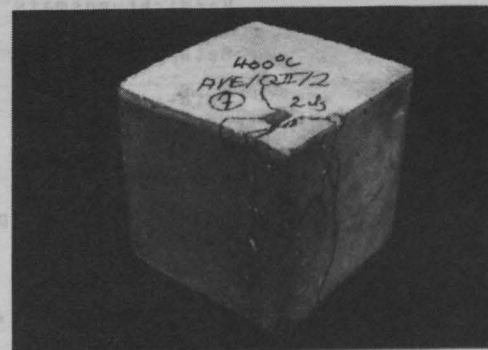
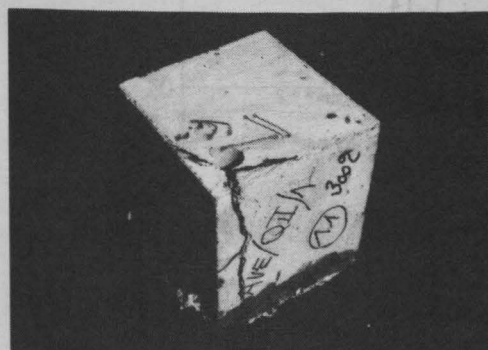
20°C/65%F

44.0

Messor-Loment-Wert

md 0.33

Ausbreitmass



10 150°C

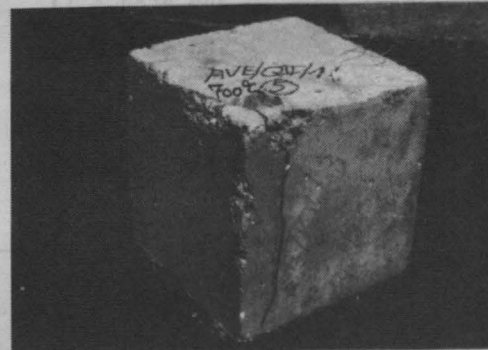
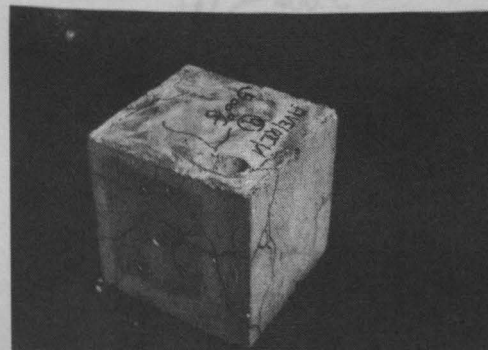
300°C

20°C

01.6 : 0470 000

8 : 0470 000

200 Grad : 13



***** AE/QII/1D *****

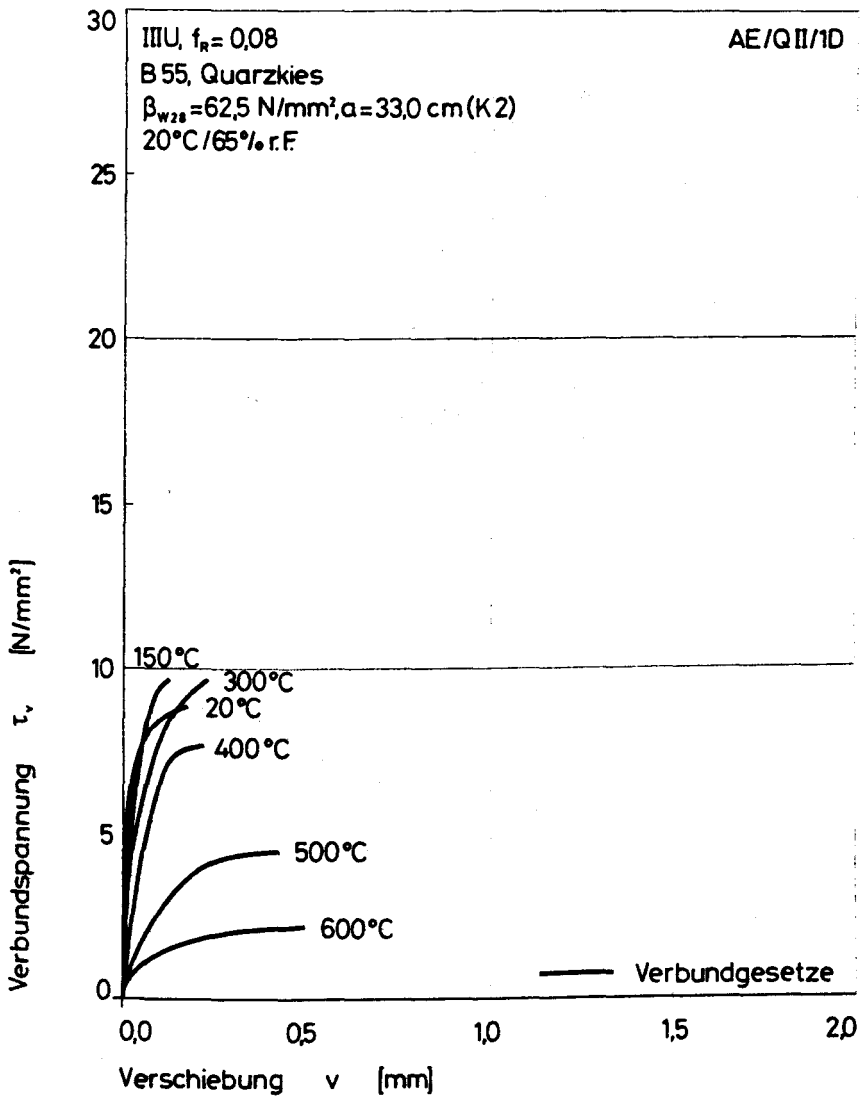
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betondeckung : 1 ds
Beton : B55
Zuschlagsart : Quarzkies
Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
Sieblinie : A16/B16
Koernungsziffer : 3.87
Wasser-Zement-Wert : 0.44
Ausbreitmass : 33.0 cm
Verdichtungsmass : 1.14
Beta-w,28 : 62.5 N/mm**2
Beta-w,VD : 65.5 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 4.35 N/mm**2

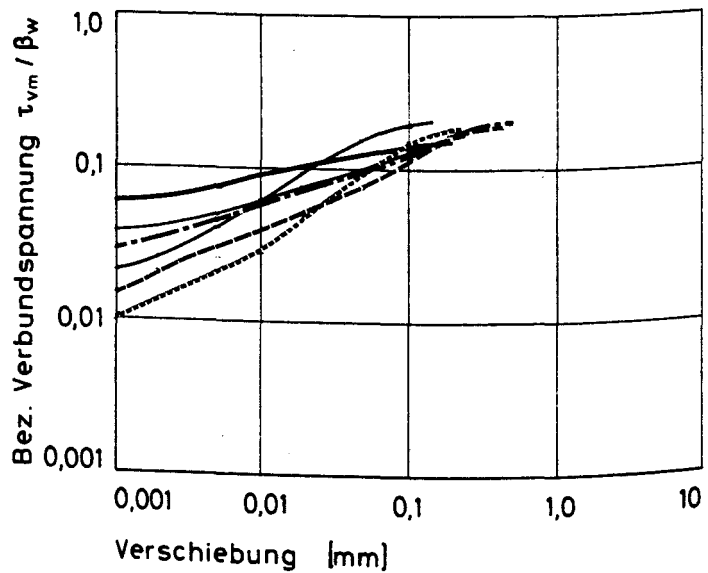
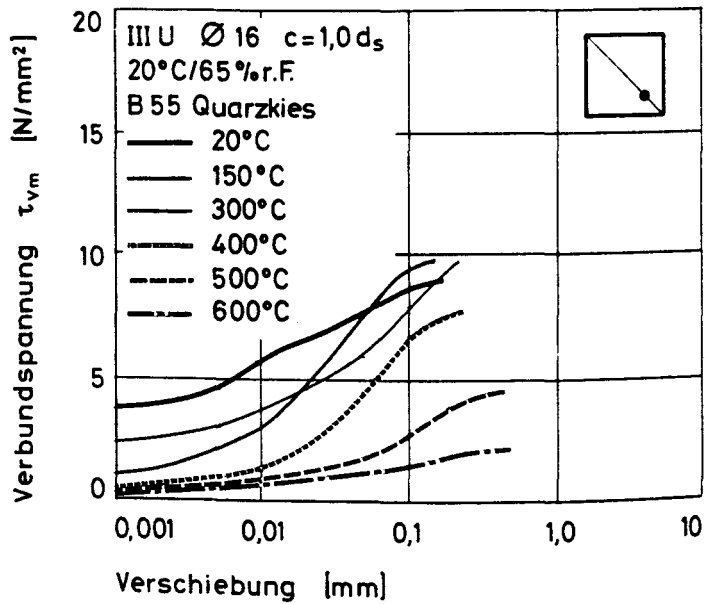
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 2,7,9
150 Grad : 1,4,5,6
200 Grad :
300 Grad : 3,10
400 Grad : 8
500 Grad : 13
600 Grad : 14
700 Grad :

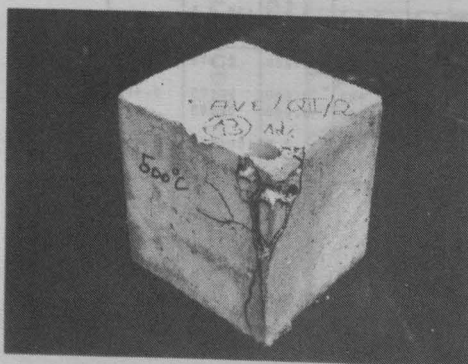
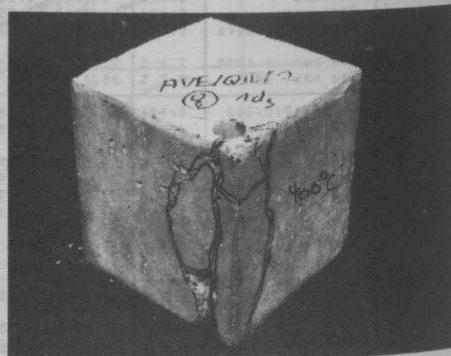
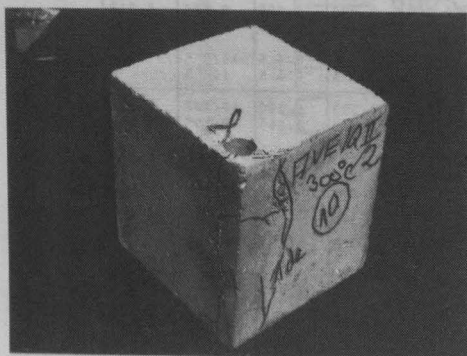
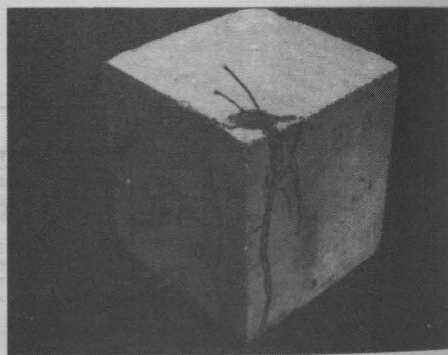
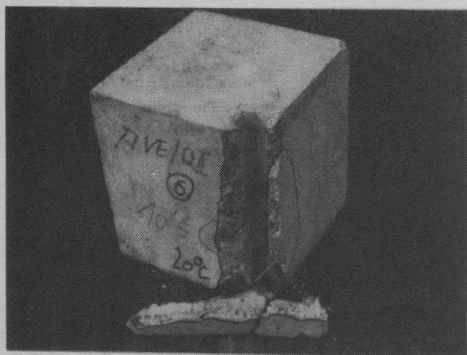
(Datenfile z.B.: AE/QII/1D/7/20)

Bemerkungen:





AE/QII/1D	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{09} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
AE/QII/1D/2/20	1.074	4.051	8.084	0.000	0.000	0.000	9.126	0.287
AE/QII/1D/7/20	6.465	7.648	0.000	0.000	0.000	0.000	8.262	0.082
AE/QII/1D/9/20	3.224	5.563	9.193	0.000	0.000	0.000	9.308	0.144
Mittelwert	3.588	5.754	8.638	0.000	0.000	0.000	8.899	0.171
Varianz	4.910	2.175	0.307	0.000	0.000	0.000	0.208	0.007
Streuung	2.216	1.475	0.555	0.000	0.000	0.000	0.456	0.086
Mittelw. / Beta	0.051	0.032	0.145	0.000	0.000	0.000	0.151	
Tau max. = 100%	40.3 %	64.7 %	37.1 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	39.9 %	64.0 %	36.1 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
AE/QII/1D/1/150	0.403	2.796	3.647	0.000	0.000	0.000	8.698	0.118
AE/QII/1D/4/150	0.803	3.071	3.768	0.000	0.000	0.000	10.074	0.132
AE/QII/1D/5/150	0.886	1.875	3.039	0.000	0.000	0.000	9.329	0.127
AE/QII/1D/6/150	0.833	4.731	10.143	0.000	0.000	0.000	10.442	0.154
Mittelwert	0.683	3.118	3.404	0.000	0.000	0.000	9.636	0.133
Varianz	0.029	1.063	0.350	0.000	0.000	0.000	0.454	0.000
Streuung	0.171	1.031	0.592	0.000	0.000	0.000	0.674	0.013
Mittelw. / Beta	0.014	0.065	0.139	0.000	0.000	0.000	0.204	
Tau max. = 100%	7.1 %	32.4 %	37.6 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	7.7 %	35.0 %	105 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	108 %	
AE/QII/1D/3/300	0.195	0.806	6.668	10.123	0.000	0.000	10.143	0.323
AE/QII/1D/10/300	4.127	6.276	9.088	0.000	0.000	0.000	9.185	0.142
Mittelwert	2.161	3.541	7.879	10.123	0.000	0.000	9.664	0.232
Varianz	3.863	7.480	1.464	0.000	0.000	0.000	0.229	0.008
Streuung	1.965	2.735	1.210	0.000	0.000	0.000	0.479	0.090
Mittelw. / Beta	0.037	0.061	0.136	0.174	0.000	0.000	0.166	
Tau max. = 100%	22.4 %	36.6 %	81.5 %	104 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	24.2 %	39.8 %	88.5 %	113 %	0.0 %	0.0 %	108 %	
AE/QII/1D/9/400	0.237	1.201	6.655	0.000	0.000	0.000	7.630	0.221
Mittelwert	0.237	1.201	6.655	0.000	0.000	0.000	7.630	0.221
Mittelw. / Beta	0.006	0.029	0.161	0.000	0.000	0.000	0.185	
Tau max. = 100%	3.1 %	15.7 %	87.2 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.7 %	13.5 %	74.8 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	85.7 %	
AE/QII/1D/13/500	0.178	0.782	2.615	4.310	0.000	0.000	4.440	0.427
Mittelwert	0.178	0.782	2.615	4.310	0.000	0.000	4.440	0.427
Mittelw. / Beta	0.008	0.035	0.117	0.132	0.000	0.000	0.198	
Tau max. = 100%	4.0 %	17.6 %	53.9 %	97.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.0 %	8.8 %	28.4 %	42.4 %	0.0 %	0.0 %	49.9 %	
AE/QII/1D/14/600	0.200	0.801	1.252	2.056	0.000	0.000	2.175	0.467
Mittelwert	0.200	0.801	1.252	2.056	0.000	0.000	2.175	0.467
Mittelw. / Beta	0.012	0.057	0.128	0.195	0.000	0.000	0.205	
Tau max. = 100%	9.2 %	27.6 %	62.1 %	95.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.2 %	6.3 %	15.2 %	23.2 %	0.0 %	0.0 %	24.4 %	



***** A1/QII/2D *****

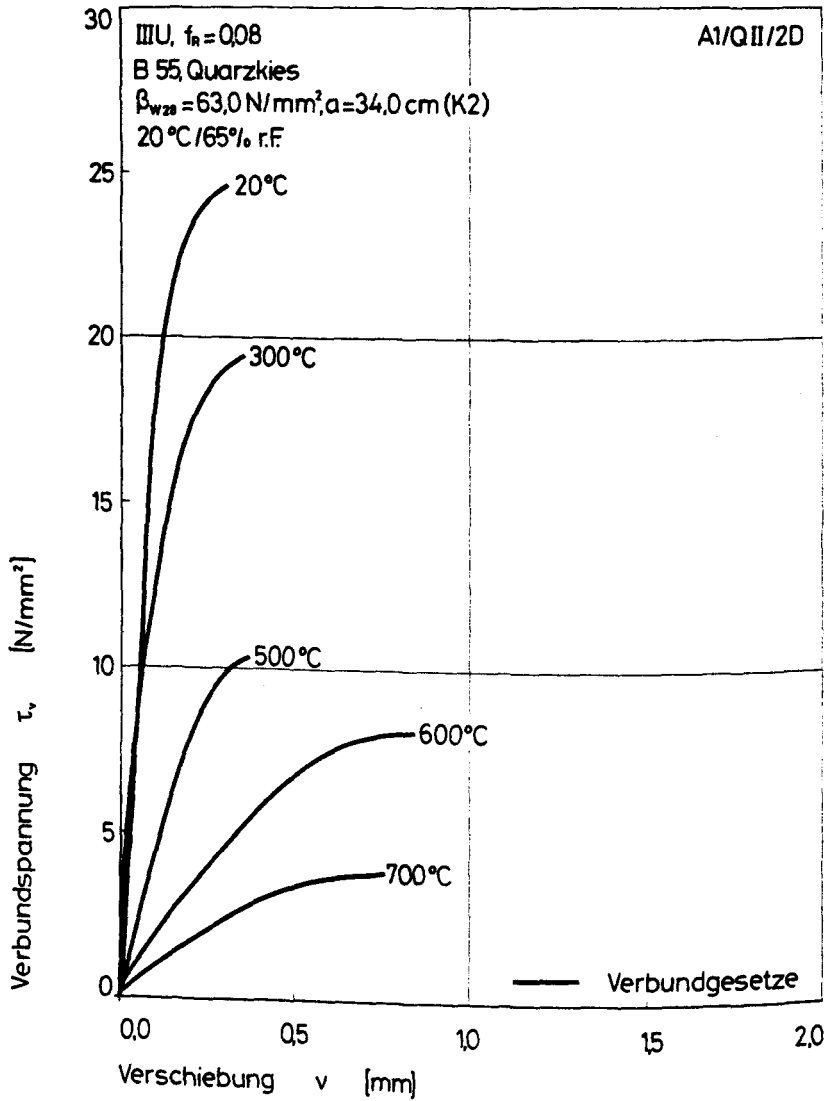
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betondeckung : 2 ds
 Beton : B55
 Zuschlagsart : Quarzkies
 Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
 Sieblinie : B16
 Koernungsziffer : 3.79
 Wasser-Zement-Wert : 0.46
 Ausbreitmass : 34.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.19
 Beta-w,28 : 63.0 N/mm**2
 Beta-w,VD : 68.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 3.81 N/mm**2

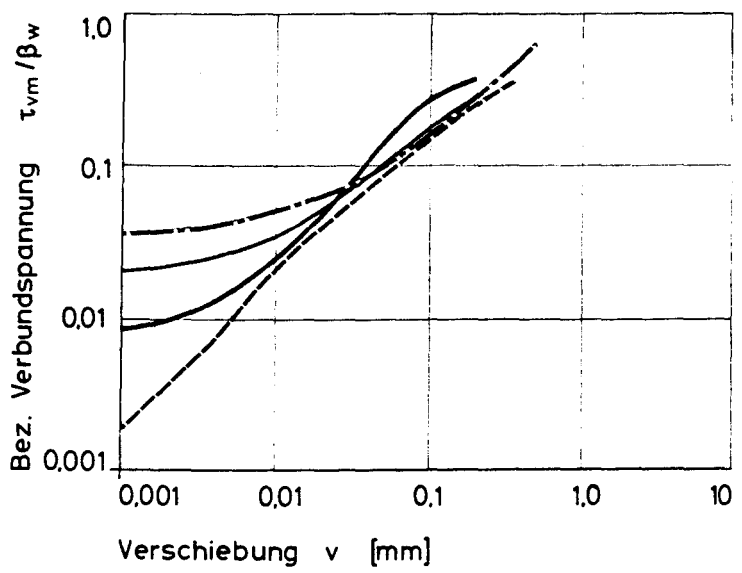
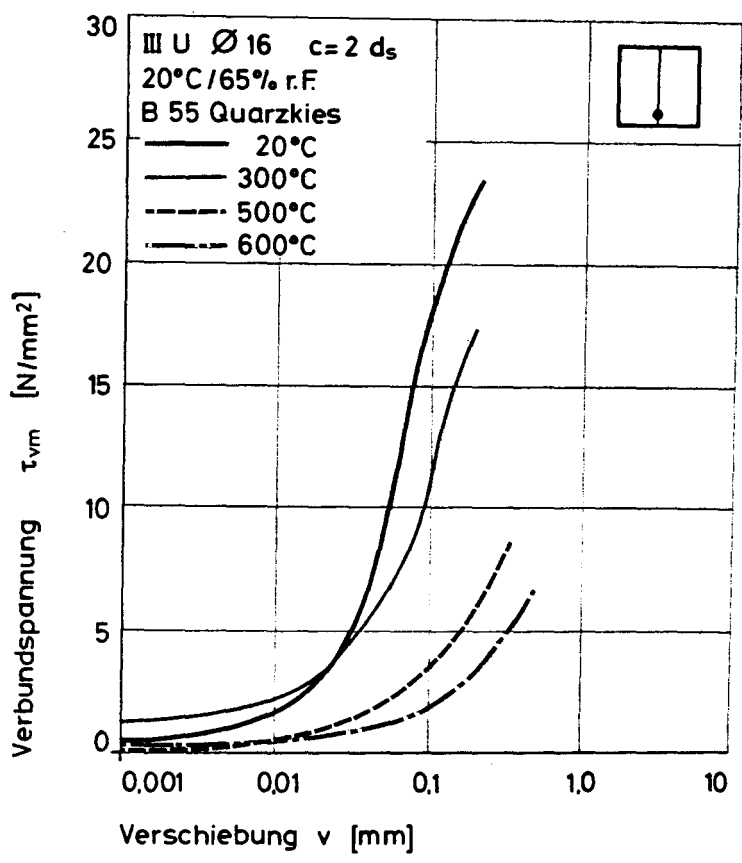
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 1,2,3
 150 Grad :
 200 Grad :
 300 Grad : 4,5,6,14
 400 Grad :
 500 Grad : 7,9
 600 Grad :
 700 Grad : 10,11,13

(Datenfile z.B.: A1/QII/2D/3/20)

Bemerkungen:





A1/QII/2D	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{09} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
A1/QII/2D/1/20	0.950	3.237	21.367	0.000	0.000	0.000	24.660	0.201
A1/QII/2D/2/20	0.483	1.525	16.578	24.233	0.000	0.000	24.609	0.376
A1/QII/2D/3/20	-0.005	0.075	16.813	24.748	0.000	0.000	24.881	0.397
Mittelwert	0.714	1.632	18.253	24.431	0.000	0.000	24.716	0.305
Varianz	0.055	1.736	4.859	0.066	0.000	0.000	0.014	0.006
Streuung	0.234	1.318	2.204	0.258	0.000	0.000	0.118	0.075
Mittelw. / Beta	0.011	0.026	0.231	0.231	0.000	0.000	0.394	
Tau max. = 100%	2.3 %	6.6 %	73.8 %	99.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.9 %	6.5 %	73.1 %	98.1 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
A1/QII/2D/4/300	7.438	10.068	16.390	0.000	0.000	0.000	18.406	0.279
A1/QII/2D/14/300	0.325	1.583	12.760	17.788	0.000	0.000	17.886	0.401
A1/QII/2D/5/300	0.010	0.730	10.035	20.099	0.000	0.000	21.178	0.422
A1/QII/2D/6/300	0.000	3.532	11.973	20.088	0.000	0.000	20.369	0.347
Mittelwert	2.591	3.393	12.790	13.325	0.000	0.000	19.460	0.362
Varianz	11.763	13.296	5.305	1.131	0.000	0.000	1.842	0.003
Streuung	3.430	3.646	2.303	1.097	0.000	0.000	1.357	0.055
Mittelw. / Beta	0.042	0.065	0.207	0.313	0.000	0.000	0.315	
Tau max. = 100%	13.3 %	20.5 %	65.7 %	99.3 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	10.5 %	16.2 %	51.7 %	78.2 %	0.0 %	0.0 %	78.7 %	
A1/QII/2D/7/500	-0.001	0.815	5.733	13.813	0.000	0.000	11.053	0.356
A1/QII/2D/9/500	-0.002	0.483	3.084	9.063	0.000	0.000	9.629	0.395
Mittelwert	-0.004	0.652	4.411	9.941	0.000	0.000	10.341	0.375
Varianz	0.000	0.027	1.762	0.771	0.000	0.000	0.507	0.000
Streuung	0.000	0.163	1.328	0.878	0.000	0.000	0.712	0.019
Mittelw. / Beta	-0.000	0.027	0.185	0.416	0.000	0.000	0.433	
Tau max. = 100%	-0.0 %	6.3 %	42.7 %	36.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	2.6 %	17.8 %	40.2 %	0.0 %	0.0 %	41.8 %	
A1/QII/2D/8/600	0.393	0.577	1.795	4.394	0.000	0.000	8.086	0.848
Mittelwert	0.393	0.577	1.795	4.594	0.000	0.000	8.086	0.848
Mittelw. / Beta	0.035	0.051	0.159	0.407	0.000	0.000	0.716	
Tau max. = 100%	4.9 %	7.1 %	22.2 %	56.6 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.6 %	2.3 %	7.3 %	18.6 %	0.0 %	0.0 %	32.7 %	
A1/QII/2D/10/700	0.081	0.216	0.916	2.213	0.000	0.000	4.056	0.893
A1/QII/2D/13/700	0.006	0.197	1.041	2.336	0.000	0.000	3.056	0.589
A1/QII/2D/11/700	0.000	0.431	1.110	2.633	0.000	0.000	4.520	0.828
Mittelwert	0.029	0.281	1.022	2.416	0.000	0.000	3.877	0.770
Varianz	0.001	0.011	0.006	0.022	0.000	0.000	0.373	0.017
Streuung	0.033	0.106	0.030	0.170	0.000	0.000	0.611	0.131
Mittelw. / Beta	0.003	0.032	0.116	0.275	0.000	0.000	0.441	
Tau max. = 100%	0.8 %	7.3 %	26.4 %	62.3 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.1 %	1.1 %	4.1 %	9.8 %	0.0 %	0.0 %	15.7 %	

U1/KI/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

***** U1/KI/S1 *****

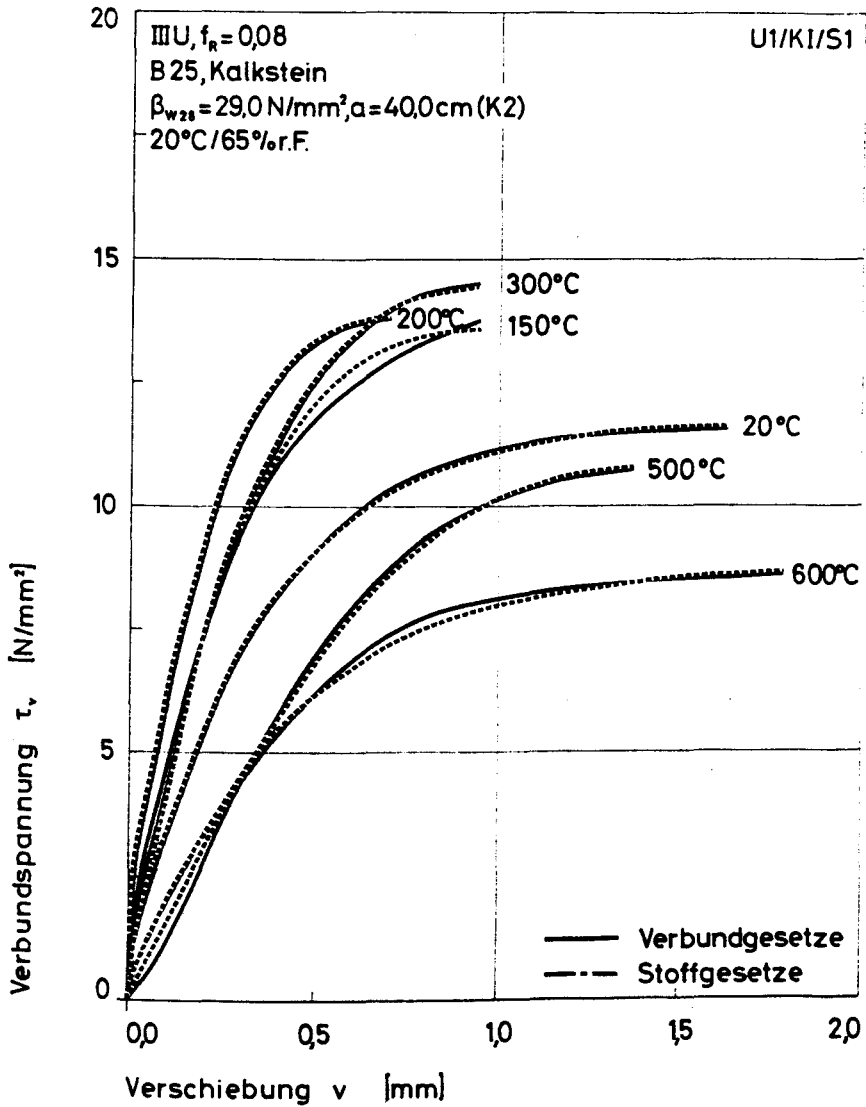
Stahl : IIIU , $f(R)=0.08$
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betonklasse : B25
Zuschlagsart : KALKSTEIN
Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
Sieblinie : A16/B16
Koernungsziffer : 3.94
Wasser-Zement-Wert : 0.93
Ausbreitmass : 40.0 cm
Verdichtungsmass : 1.07
Beta-W,28 : 29.0 N/mm**2
Beta-W,VD : 32.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.47 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grd : 3,4,7
150 Grd : 15,17
200 Grd : 20
300 Grd : 13,18
400 Grd :
500 Grd : 9,14
600 Grd : 16
700 Grd :

(Datenfile z.B.: U1/KI/S1/13/300)

Bemerkungen :

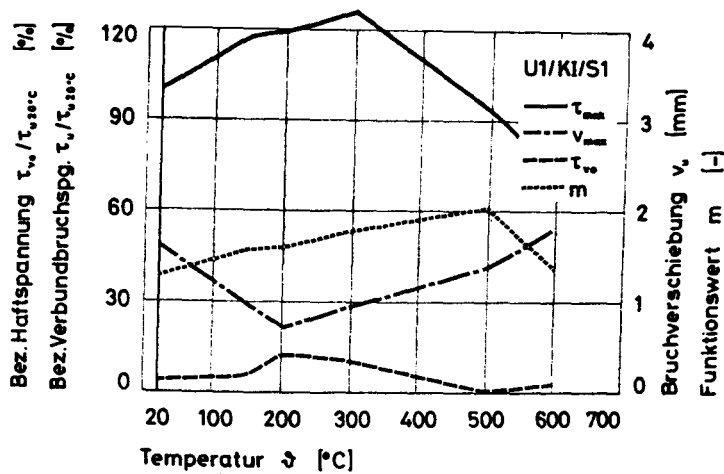


U1/K1/S1	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{05} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_{∞} N/mm ²	v_{max} mm
U1/K1/S1/3/20	0.470	1.774	3.542	6.870	10.977	11.137	11.301	1.471
U1/K1/S1/4/20	0.304	0.682	3.484	7.314	11.919	12.124	12.612	1.691
U1/K1/S1/7/20	0.587	0.892	2.511	6.186	9.988	10.196	10.652	1.749
Mittelwert	0.454	1.116	3.179	6.990	10.961	11.152	11.522	1.637
Varianz	0.013	0.224	0.224	0.505	0.622	0.620	0.665	0.014
Streuung	0.116	0.473	0.473	0.711	0.788	0.787	0.815	0.120
Mittelw. / Beta	0.016	0.340	0.113	0.248	0.389	0.395	0.409	
Tau max. = 100%	3.9 %	3.7 %	27.6 %	60.7 %	95.1 %	96.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	3.9 %	3.6 %	27.3 %	60.1 %	94.2 %	95.8 %	99.0 %	
U1/K1/S1/15/150	0.940	1.552	4.309	8.767	11.904	11.958	12.442	1.103
U1/K1/S1/17/150	0.285	1.648	4.654	10.270	0.000	0.000	14.728	0.801
Mittelwert	0.613	1.600	4.481	9.518	0.000	0.000	13.585	0.952
Varianz	0.107	0.002	0.030	0.565	0.000	0.000	1.306	0.023
Streuung	0.328	0.048	0.173	0.752	0.000	0.000	1.143	0.151
Mittelw. / Beta	0.023	0.060	0.169	0.959	0.000	0.000	0.513	
Tau max. = 100%	4.5 %	11.8 %	33.0 %	70.1 %	87.6 %	88.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	5.3 %	13.9 %	38.9 %	82.6 %	103.0 %	103.0 %	117.0 %	
U1/K1/S1/20/200	1.463	2.599	5.821	11.266	0.000	0.000	13.770	0.709
Mittelwert	1.463	2.599	5.821	11.266	0.000	0.000	13.770	0.709
Mittelw. / Beta	0.060	0.106	0.238	0.460	0.000	0.000	0.562	
Tau max. = 100%	10.6 %	18.9 %	42.3 %	81.8 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	12.7 %	22.6 %	50.5 %	97.8 %	0.0 %	0.0 %	119.0 %	
U1/K1/S1/13/300	1.189	1.681	4.350	9.564	0.000	0.000	14.005	0.868
U1/K1/S1/18/300	1.235	1.437	3.746	9.593	0.000	0.000	14.888	1.028
Mittelwert	1.212	1.559	4.048	9.579	0.000	0.000	14.446	0.948
Varianz	0.001	0.015	0.091	0.000	0.000	0.000	0.195	0.006
Streuung	0.023	0.122	0.302	0.015	0.000	0.000	0.442	0.080
Mittelw. / Beta	0.049	0.063	0.163	0.386	0.000	0.000	0.583	
Tau max. = 100%	8.4 %	10.8 %	28.0 %	66.3 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	10.5 %	13.5 %	35.1 %	83.1 %	0.0 %	0.0 %	125 %	
U1/K1/S1/9/500	0.043	0.153	1.270	5.123	10.681	10.859	11.098	1.286
U1/K1/S1/14/500	0.020	0.069	0.849	3.541	8.913	9.395	10.319	1.470
Mittelwert	0.032	0.111	1.060	4.332	9.797	10.127	10.706	1.378
Varianz	0.000	0.002	0.044	0.626	0.781	0.536	0.154	0.008
Streuung	0.012	0.042	0.211	0.791	0.884	0.732	0.393	0.092
Mittelw. / Beta	0.001	0.005	0.048	0.196	0.443	0.458	0.484	
Tau max. = 100%	0.3 %	1.0 %	9.9 %	40.5 %	91.5 %	94.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.3 %	1.0 %	9.2 %	37.6 %	85.0 %	87.9 %	92.9 %	
U1/K1/S1/16/600	0.266	0.411	1.931	4.367	7.972	8.111	8.551	1.793
Mittelwert	0.266	0.411	1.931	4.367	7.972	8.111	8.551	1.793
Mittelw. / Beta	0.012	0.019	0.089	0.201	0.367	0.374	0.394	
Tau max. = 100%	3.1 %	4.8 %	22.6 %	51.1 %	93.2 %	94.9 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.3 %	3.6 %	16.8 %	37.9 %	69.2 %	70.4 %	74.2 %	

Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie U1/KI/S1

für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



U1/KI/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	0,45	11,52	1,64	1,28
150 °C	0,61	13,59	0,95	1,56
200 °C	1,46	13,77	0,71	1,58
300 °C	1,21	14,45	0,95	1,76
400 °C	-	-	-	-
500 °C	0,03	10,71	1,38	2,04
600 °C	0,27	8,55	1,79	1,35
700 °C	-	-	-	-

3. Exzentrische Ausziehversuche

***** A1/KI/2D *****

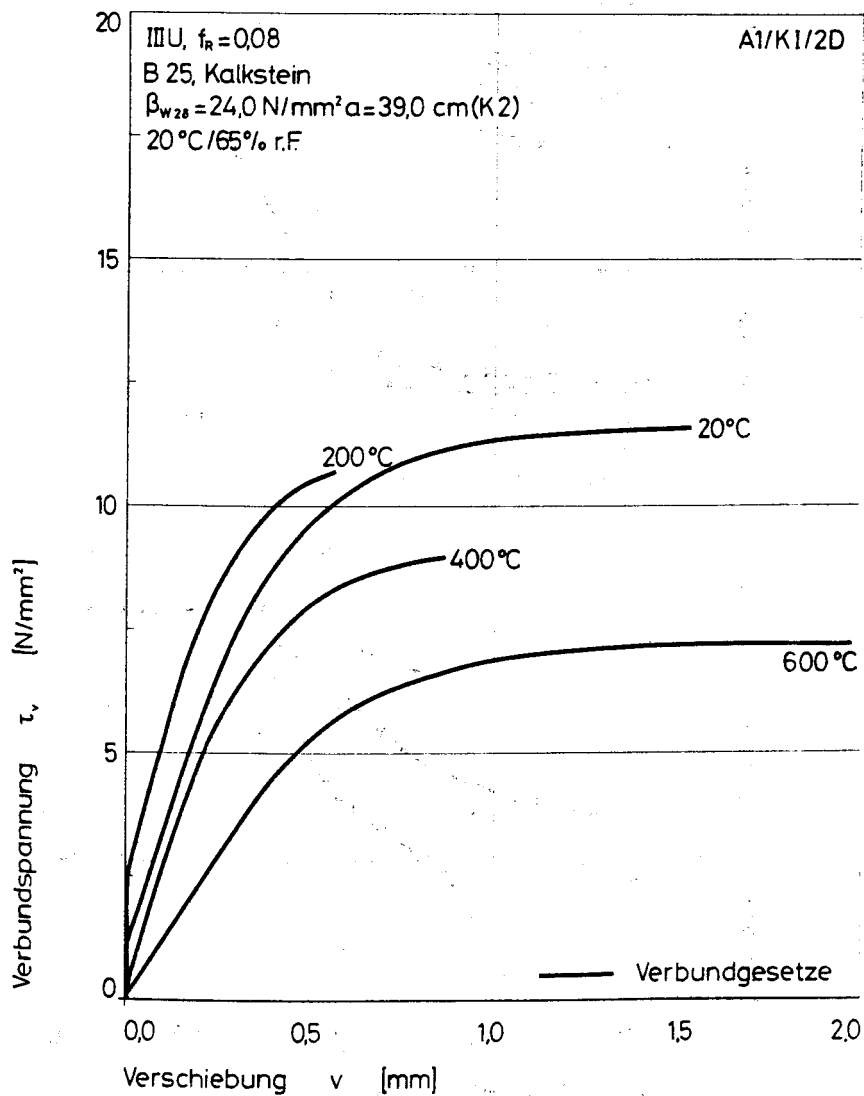
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betondeckung : 2 ds
Beton : B25
Zuschlagsart : Kalkstein
Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
Sieblinie : A16/B16
Koernungsziffer : 3.94
Wasser-Zement-Wert : 0.93
Ausbreitmass : 40.0 cm
Verdichtungsmass : 1.07
Beta-w,28 : 29.0 N/mm**2
Beta-w,VD : 32.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.47 N/mm**2

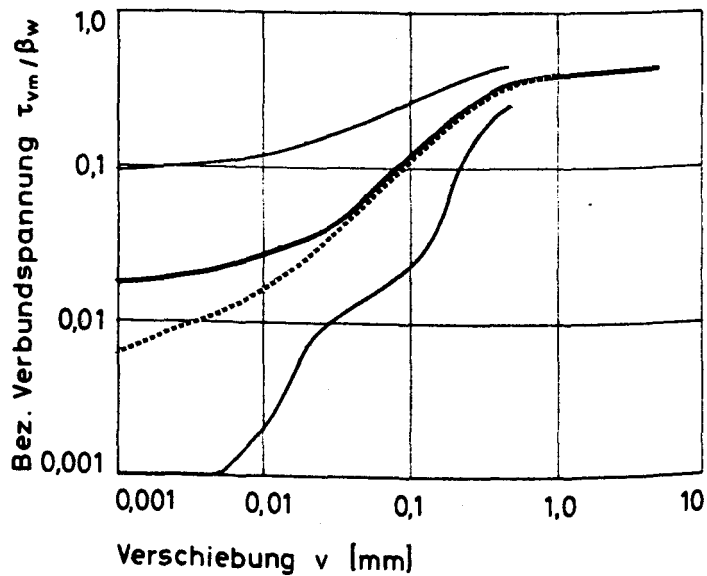
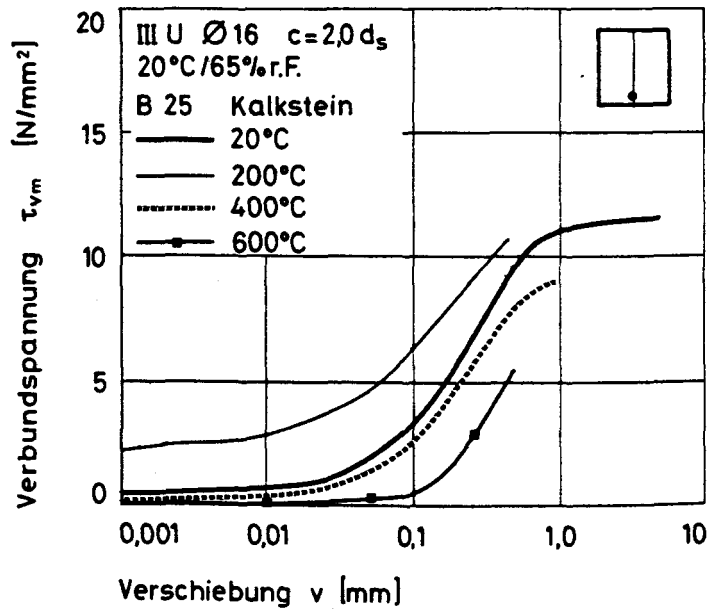
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 2,6
150 Grad :
200 Grad : 1,3
300 Grad :
400 Grad : 5,7
500 Grad :
600 Grad : 4
700 Grad :

(Datenfile z.B.: A1/KI/2D/2/20)

Bemerkungen:





A1/KI/2D	τ_0 N/mm ²	τ_{901} N/mm ²	τ_{91} N/mm ²	τ_{93} N/mm ²	τ_{99} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
A1/KI/2D/2/20	0.935	1.340	4.915	3.195	11.901	11.968	12.004	1.094
A1/KI/2D/6/20	0.001	0.030	1.430	5.567	10.505	10.684	11.101	1.776
Mittelwert	0.468	0.685	3.173	7.381	11.203	11.326	11.552	1.435
Varianz	0.218	0.423	3.026	3.291	0.487	0.412	0.204	0.116
Streuung	0.467	0.655	1.743	1.814	0.698	0.642	0.452	0.341
Mittelw. / Beta	0.017	0.024	0.113	0.262	0.397	0.402	0.410	
Tau max. = 100%	4.1 %	5.9 %	27.5 %	63.3 %	37.0 %	98.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	4.0 %	5.9 %	27.2 %	63.3 %	36.0 %	97.1 %	99.0 %	
A1/KI/2D/1/200	3.123	3.331	6.043	3.778	0.000	0.000	11.306	0.470
A1/KI/2D/3/200	1.708	1.973	4.413	8.223	0.000	0.000	9.957	0.693
Mittelwert	2.419	2.652	5.231	3.000	0.000	0.000	10.632	0.581
Varianz	0.505	0.461	0.669	0.505	0.000	0.000	0.455	0.012
Streuung	0.711	0.673	0.818	0.778	0.000	0.000	0.675	0.111
Mittelw. / Beta	0.033	0.108	0.214	0.367	0.000	0.000	0.434	
Tau max. = 100%	22.7 %	24.9 %	49.2 %	84.7 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	20.9 %	23.0 %	45.3 %	77.9 %	0.0 %	0.0 %	92.0 %	
A1/KI/2D/5/400	0.160	0.237	2.443	6.142	0.000	0.000	8.584	0.886
A1/KI/2D/7/400	0.134	0.348	2.722	6.316	0.000	0.000	9.307	0.865
Mittelwert	0.147	0.322	2.582	6.223	0.000	0.000	8.945	0.876
Varianz	0.000	0.001	0.013	0.008	0.000	0.000	0.131	0.000
Streuung	0.013	0.026	0.140	0.087	0.000	0.000	0.362	0.011
Mittelw. / Beta	0.006	0.014	0.110	0.266	0.000	0.000	0.382	
Tau max. = 100%	1.6 %	3.6 %	28.9 %	63.6 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.3 %	2.8 %	22.4 %	53.9 %	0.0 %	0.0 %	77.4 %	
A1/KI/2D/4/600	0.001	0.029	0.401	3.454	6.718	6.873	7.164	1.999
Mittelwert	0.001	0.029	0.401	3.454	6.718	6.873	7.164	1.999
Mittelw. / Beta	0.000	0.001	0.018	0.159	0.310	0.317	0.330	
Tau max. = 100%	0.0 %	0.4 %	3.6 %	48.2 %	93.8 %	95.9 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	0.2 %	3.5 %	29.9 %	58.2 %	59.5 %	62.0 %	

U1/KI/S2

1. Zentrische Ausziehversuche

***** U1/KI/S2 *****

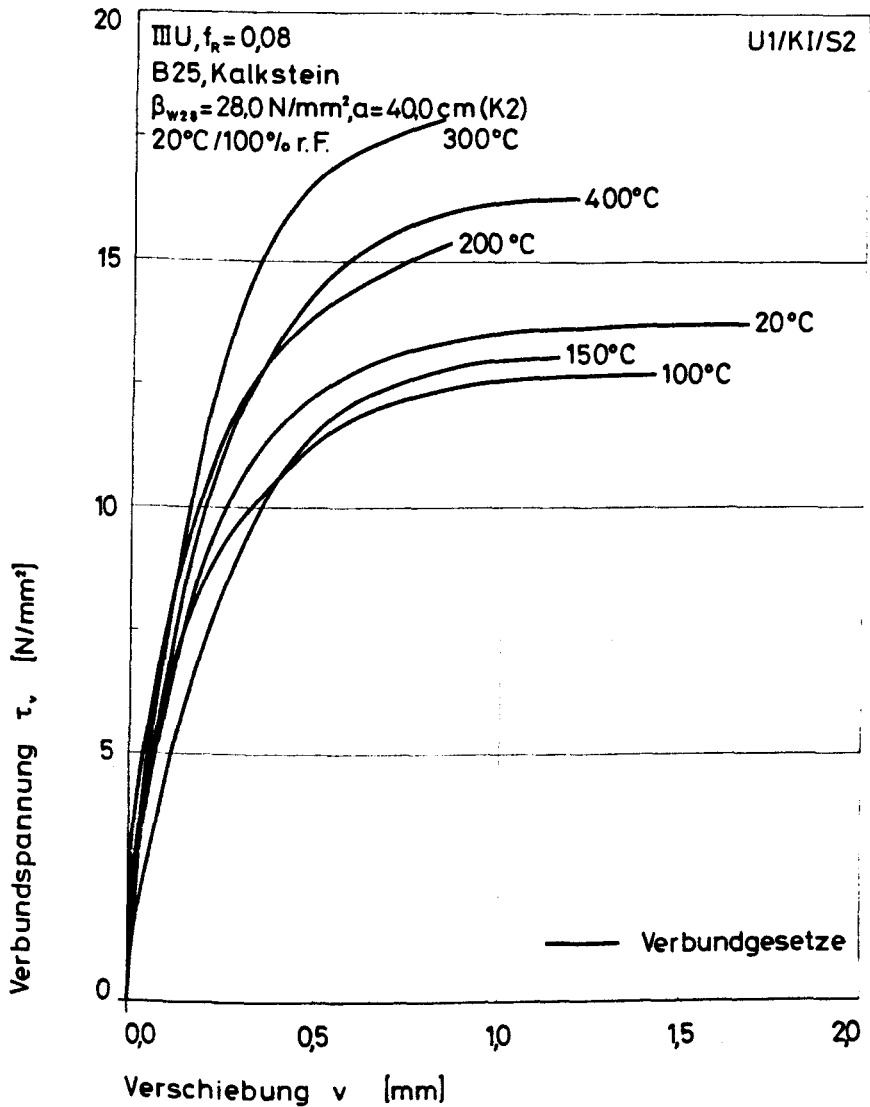
Stahl : IIIU , $f(R)=0.08$
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betonklasse : B25
Zuschlagsart : KALKSTEIN
Lagerungsart : 20 Grd, 100%r.F.
Sieblinie : A16/B16
Koernungsziffer : 3.94
Wasser-Zement-Wert : 0.87
Ausbreitmass : 40.0 cm
Verdichtungsmass : 1.08
Beta-W,28 : 28.0 N/mm**2
Beta-W,VD : 31.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.51 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grd : 6,10,14
100 Grd : 12,16
150 Grd : 13,17
200 Grd : 5,18
300 Grd : 2,9
400 Grd : 3,20
600 Grd :
700 Grd :

(Datenfile z.B.: U1/KI/S2/13/150)

Bemerkungen :

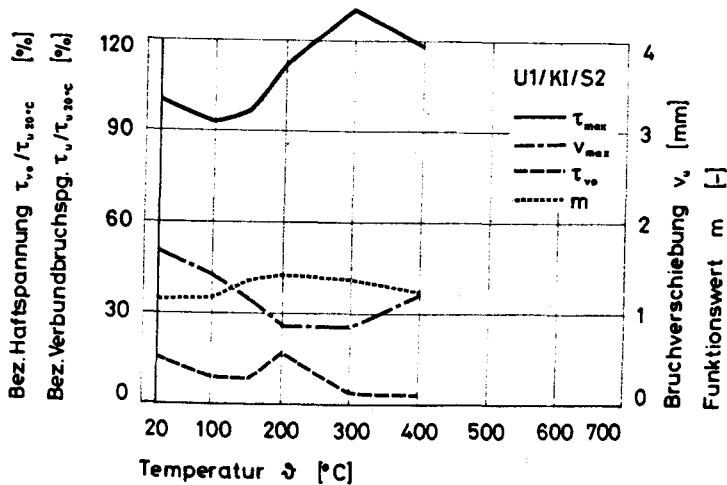


U1/K1/S2	τ_0 N/mm ²	τ_{q01} N/mm ²	τ_{q1} N/mm ²	τ_{q3} N/mm ²	τ_{q5} N/mm ²	τ_{q7} N/mm ²	τ_{q9} N/mm ²	τ_{max} mm
U1/K1/S2/10/20	2.413	3.037	6.949	12.016	14.582	14.660	14.844	1.670
U1/K1/S2/6/20	2.490	3.095	6.097	10.814	13.812	13.949	14.136	1.669
U1/K1/S2/14/20	1.491	2.018	5.097	9.145	11.804	11.924	12.117	1.704
Mittelwert	2.131	2.716	6.048	10.658	13.399	13.511	13.693	1.681
Varianz	0.206	0.245	0.573	1.386	1.371	1.344	1.335	0.000
Streuung	0.454	0.495	0.757	1.177	1.171	1.159	1.155	0.016
Mittelw. / Beta	0.076	0.096	0.214	0.378	0.475	0.479	0.486	
Tau max. = 100%	15.6 %	19.8 %	44.1 %	77.8 %	97.8 %	98.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	15.4 %	19.6 %	43.7 %	77.0 %	96.8 %	97.6 %	99.0 %	
U1/K1/S2/12/100	2.493	2.853	6.289	9.479	12.220	12.318	12.418	1.300
U1/K1/S2/16/100	0.039	0.921	6.498	10.113	12.756	12.855	12.925	1.356
Mittelwert	1.236	1.887	6.363	9.796	12.488	12.586	12.671	1.328
Varianz	1.433	0.933	0.006	0.100	0.072	0.072	0.064	0.001
Streuung	1.197	0.366	0.075	0.317	0.268	0.269	0.254	0.028
Mittelw. / Beta	0.047	0.071	0.240	0.370	0.471	0.475	0.478	
Tau max. = 100%	9.8 %	14.9 %	50.2 %	77.3 %	98.6 %	99.3 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	9.0 %	13.8 %	46.4 %	71.5 %	91.2 %	91.9 %	92.5 %	
U1/K1/S2/13/150	2.313	3.147	6.102	10.323	13.060	0.000	13.116	1.015
U1/K1/S2/17/150	0.025	0.517	2.991	8.311	12.836	12.846	13.201	1.298
Mittelwert	1.169	1.632	4.546	9.317	12.948	12.846	13.159	1.156
Varianz	1.309	2.295	2.420	1.012	0.013	0.000	0.002	0.020
Streuung	1.144	1.515	1.556	1.006	0.112	0.000	0.043	0.141
Mittelw. / Beta	0.046	0.064	0.178	0.367	0.510	0.506	0.518	
Tau max. = 100%	8.8 %	12.4 %	34.5 %	70.8 %	96.4 %	97.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	8.5 %	11.9 %	33.2 %	68.0 %	94.5 %	95.8 %	96.1 %	
U1/K1/S2/5/200	2.395	4.259	8.542	12.298	15.836	0.000	16.125	0.930
U1/K1/S2/18/200	2.468	2.824	6.552	11.891	0.000	0.000	14.798	0.788
Mittelwert	2.432	3.541	7.547	12.094	15.836	0.000	15.461	0.859
Varianz	0.001	0.515	0.990	0.041	0.000	0.000	0.440	0.005
Streuung	0.037	0.718	0.995	0.204	0.000	0.000	0.664	0.071
Mittelw. / Beta	0.093	0.145	0.308	0.494	0.646	0.000	0.691	
Tau max. = 100%	15.7 %	22.3 %	48.8 %	78.2 %	102 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	17.8 %	25.9 %	55.1 %	88.3 %	115 %	0.0 %	112 %	
U1/K1/S2/2/300	0.496	2.148	7.320	12.939	0.000	0.000	16.526	0.872
U1/K1/S2/9/300	0.500	1.693	7.496	15.322	0.000	0.000	19.186	0.809
Mittelwert	0.498	1.920	7.408	14.131	0.000	0.000	17.856	0.840
Varianz	0.000	0.052	0.008	1.420	0.000	0.000	1.765	0.001
Streuung	0.002	0.228	0.088	1.192	0.000	0.000	1.390	0.032
Mittelw. / Beta	0.020	0.077	0.299	0.570	0.000	0.000	0.720	
Tau max. = 100%	2.8 %	10.8 %	41.5 %	79.1 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	3.6 %	14.0 %	54.1 %	103 %	0.0 %	0.0 %	130 %	
U1/K1/S2/3/400	0.654	2.527	7.060	12.525	16.926	16.434	16.507	1.326
U1/K1/S2/20/400	0.167	1.488	6.041	11.544	15.783	15.884	15.928	1.094
Mittelwert	0.411	2.008	6.551	12.034	16.054	16.159	16.218	1.210
Varianz	0.059	0.270	0.260	0.241	0.074	0.076	0.084	0.013
Streuung	0.244	0.520	0.510	0.491	0.272	0.275	0.290	0.116
Mittelw. / Beta	0.018	0.086	0.280	0.514	0.686	0.691	0.693	
Tau max. = 100%	2.5 %	12.4 %	40.4 %	74.2 %	99.0 %	99.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	3.0 %	14.7 %	47.8 %	87.8 %	117 %	118 %	118 %	

Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie U1/KI/S2

für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}} \right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



U1/KI/S2	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	2,13	13,70	1,68	1,14
100 °C	1,24	12,67	1,43	1,15
150 °C	1,17	13,16	1,16	1,37
200 °C	2,43	15,46	0,86	1,42
300 °C	0,50	17,86	0,84	1,37
400 °C	0,41	16,22	1,21	1,22

U1/KII/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

***** U1/KII/S1 *****

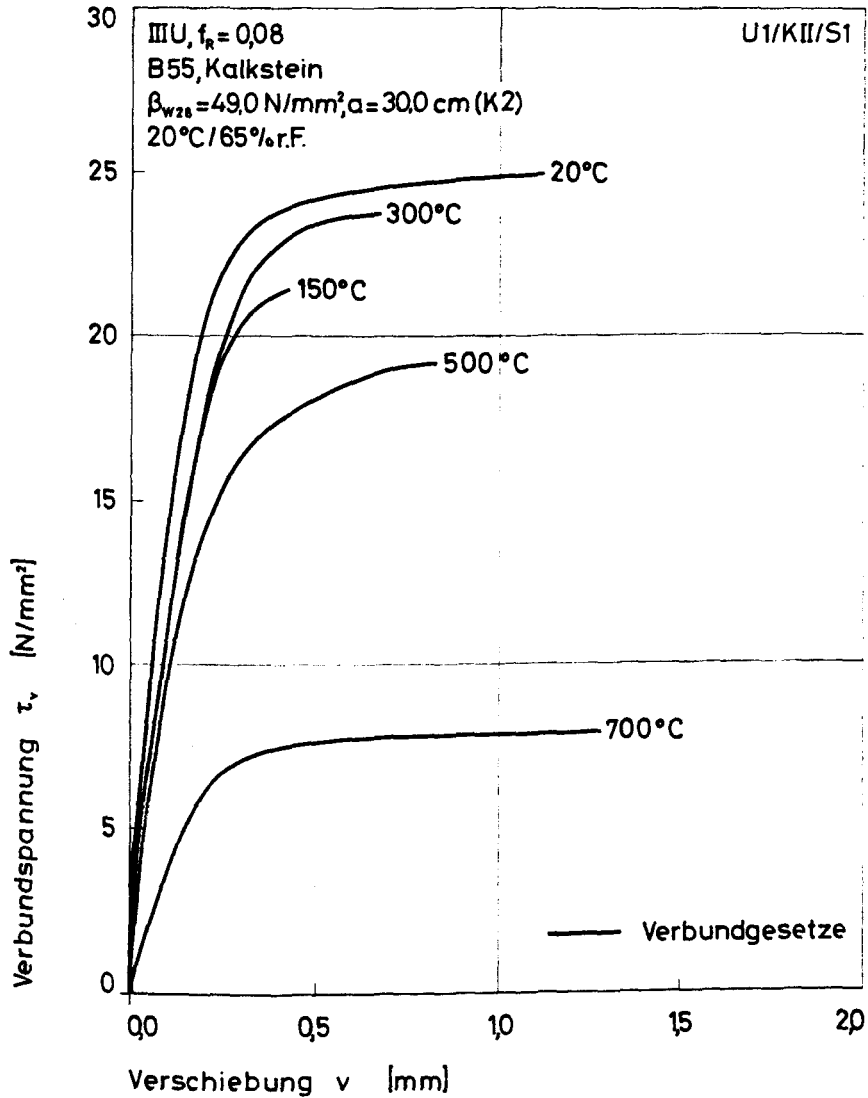
Stahl : IIIU , $f(R)=0.08$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B55
 Zuschlagsart : KALKSTEIN
 Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.94
 Wasser-Zement-Wert : 0.54
 Ausbreitmass : 30.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.25
 Beta-W,28 : 49.0 N/mm**2
 Beta-W,VD : 53.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 3.44 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grd : 8,11,16,27,35
 150 Grd : 5,6,31,39
 200 Grd :
 300 Grd : 7,19,22,33
 400 Grd :
 500 Grd : 3,20,25
 600 Grd :
 700 Grd : 4,13,21,24

(Datenfile z.B.: U1/KII/S1/33/300)

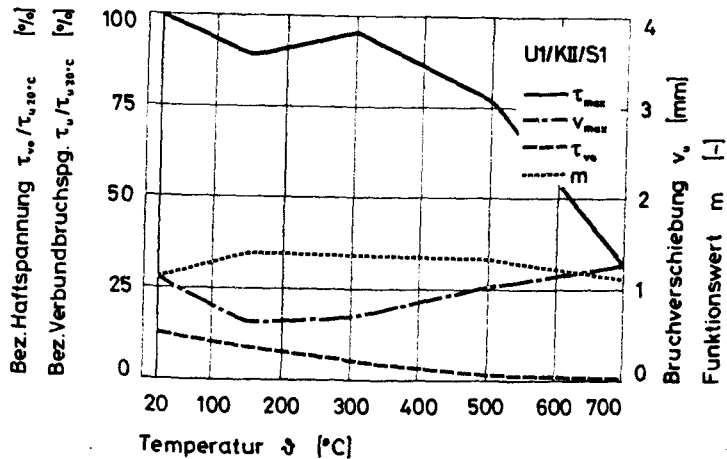
Bemerkungen :



U1/KII/S1	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{02} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
U1/KII/1/8/20	3.774	5.113	13.726	23.286	24.560	24.628	24.802	1.492
U1/KII/1/11/20	4.087	6.187	17.433	23.566	0.000	0.000	24.378	0.427
U1/KII/1/16/20	3.701	5.407	15.874	23.613	25.208	25.288	25.414	1.310
U1/KII/1/27/20	0.341	0.712	8.353	21.264	24.779	24.863	24.985	1.255
U1/KII/1/27/20	0.341	0.712	8.353	21.264	24.779	24.863	24.985	1.255
Mittelwert	2.449	3.626	12.748	22.599	24.832	24.910	24.913	1.148
Varianz	2.979	5.785	14.262	1.200	0.055	0.057	0.112	0.137
Streuung	1.726	2.405	3.776	1.095	0.235	0.238	0.335	0.371
Mittelw. / Beta	0.049	0.072	0.253	0.448	0.493	0.494	0.494	
Tau max. = 100%	9.8 %	14.6 %	51.2 %	90.7 %	99.7 %	100 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	9.7 %	14.4 %	50.7 %	89.8 %	98.7 %	99.0 %	99.0 %	
U1/KII/1/5/150	4.867	6.328	13.726	20.977	22.001	21.975	22.038	0.808
U1/KII/1/6/150	0.104	0.549	8.268	19.776	20.981	20.991	21.170	0.414
U1/KII/1/31/150	1.810	3.532	10.680	19.625	21.763	21.719	21.833	0.675
U1/KII/1/39/150	1.958	3.292	11.876	21.398	22.981	22.955	23.115	0.593
Mittelwert	2.185	3.425	11.138	20.444	21.932	21.910	22.039	0.622
Varianz	2.929	4.182	3.922	0.578	0.510	0.494	0.489	0.020
Streuung	1.711	2.045	1.980	0.760	0.714	0.703	0.699	0.149
Mittelw. / Beta	0.048	0.076	0.247	0.453	0.486	0.486	0.489	
Tau max. = 100%	9.9 %	15.5 %	50.5 %	92.8 %	99.5 %	99.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	8.8 %	13.7 %	44.7 %	82.1 %	88.0 %	87.9 %	88.5 %	
U1/KII/1/7/300	0.202	2.053	9.558	20.480	22.817	22.812	22.910	0.593
U1/KII/1/19/300	0.417	3.032	12.254	22.105	24.661	24.647	24.675	0.812
U1/KII/1/22/300	0.758	3.010	9.294	20.059	23.626	23.646	23.696	0.681
U1/KII/1/33/300	3.698	4.659	12.486	22.183	23.317	23.262	23.450	0.626
Mittelwert	1.269	3.128	10.898	21.207	23.605	23.592	23.662	0.678
Varianz	2.006	0.877	2.182	0.901	0.455	0.458	0.409	0.007
Streuung	1.416	0.936	1.477	0.949	0.674	0.677	0.640	0.084
Mittelw. / Beta	0.023	0.058	0.197	0.383	0.426	0.426	0.427	
Tau max. = 100%	5.4 %	13.5 %	46.0 %	89.5 %	99.7 %	99.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	5.1 %	12.8 %	43.7 %	85.1 %	94.8 %	94.7 %	95.1 %	
U1/KII/1/3/500	0.548	1.416	5.404	14.026	19.051	19.092	19.095	0.987
U1/KII/1/20/500	0.248	1.558	7.078	14.627	18.981	19.063	19.088	1.069
U1/KII/1/25/500	0.173	0.677	6.770	15.807	19.194	19.222	19.224	1.015
U1/KII/1/34/500	0.333	2.275	14.077	18.941	0.000	0.000	19.069	0.407
Mittelwert	0.326	1.481	8.332	15.850	19.075	19.125	19.119	0.869
Varianz	0.020	0.322	11.398	3.595	0.008	0.005	0.004	0.072
Streuung	0.140	0.567	3.376	1.896	0.089	0.069	0.061	0.269
Mittelw. / Beta	0.007	0.032	0.182	0.347	0.417	0.418	0.418	
Tau max. = 100%	1.7 %	7.7 %	43.6 %	82.9 %	99.8 %	100 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.3 %	5.9 %	33.4 %	63.6 %	76.6 %	76.8 %	76.7 %	
U1/KII/1/4/700	0.016	0.313	3.312	7.509	8.189	8.194	8.199	1.182
U1/KII/1/13/700	0.107	0.736	3.873	6.830	7.560	7.585	7.626	1.784
U1/KII/1/21/700	0.111	0.606	4.341	7.777	0.000	0.000	8.278	0.651
U1/KII/1/24/700	0.027	0.470	2.556	6.495	7.447	7.467	7.496	1.509
Mittelwert	0.065	0.531	3.521	7.152	7.732	7.749	7.900	1.281
Varianz	0.002	0.025	0.443	0.263	0.107	0.101	0.118	0.178
Streuung	0.044	0.157	0.665	0.513	0.326	0.319	0.343	0.422
Mittelw. / Beta	0.003	0.023	0.155	0.315	0.341	0.341	0.348	
Tau max. = 100%	0.8 %	6.7 %	44.6 %	90.5 %	97.9 %	98.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.3 %	2.1 %	14.1 %	28.7 %	31.0 %	31.1 %	31.7 %	

Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie U1/KII/S1
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}} \right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



U1/KII/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	3,07	24,77	1,12	1,11
150 °C	2,19	22,04	0,62	1,39
200 °C	-	-	-	-
300 °C	1,27	23,68	0,68	1,36
400 °C	-	-	-	-
500 °C	0,32	19,14	1,02	1,32
600 °C	-	-	-	-
700 °C	0,07	7,90	1,28	1,11

3. Exzentrische Ausziehversuche

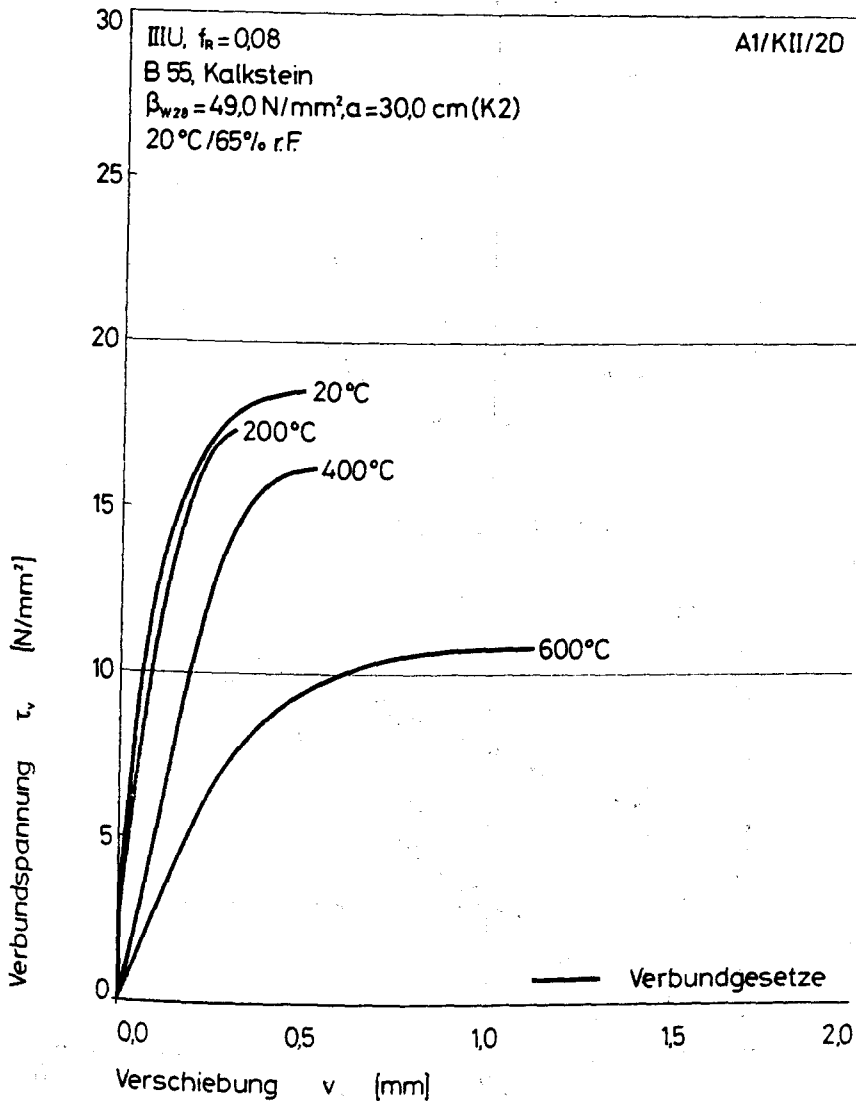
Stahl : IIIU , $f(R) = 0.08$
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betondeckung : 2 ds
Beton : B55
Zuschlagsart : Kalkstein
Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
Sieblinie : A16/B16
Koernungsziffer : 3.94
Wasser-Zement-Wert : 0.54
Ausbreitmass : 30.0 cm
Verdichtungsmass : 1.25
Beta-w,28 : 49.0 N/mm**2
Beta-w,VD : 53.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 3.44 N/mm**2

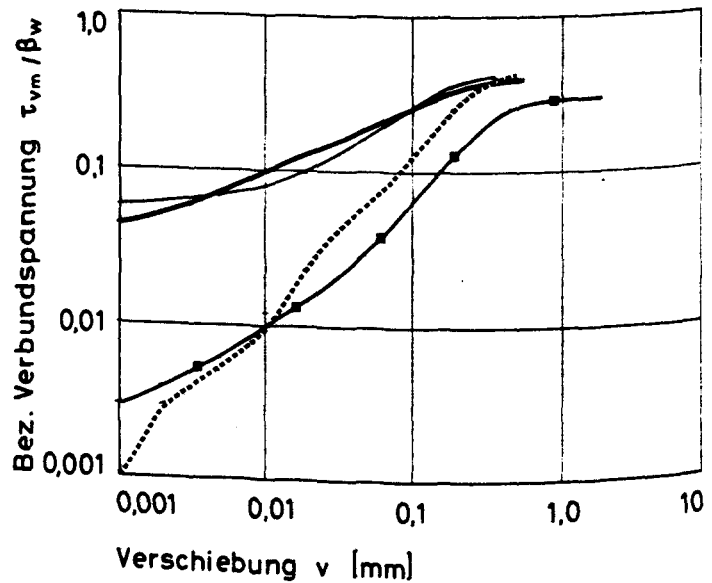
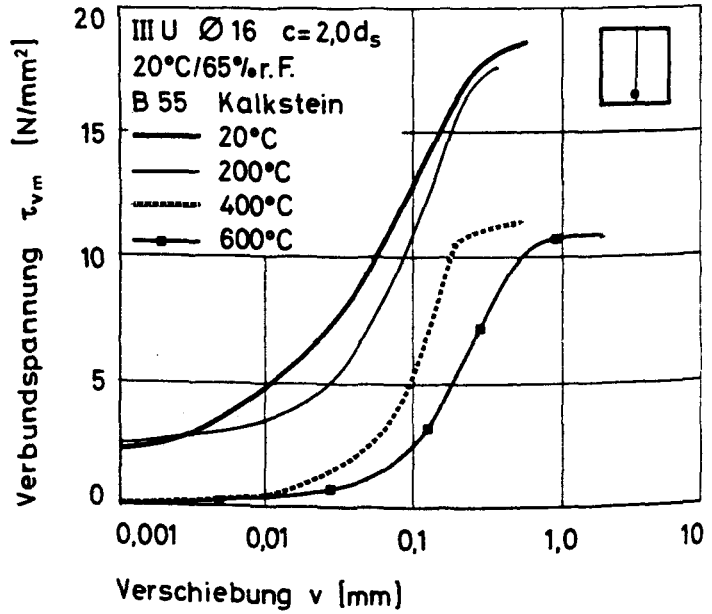
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 4,7
150 Grad :
200 Grad : 5,6
300 Grad :
400 Grad : 1,2
500 Grad :
600 Grad : 3
700 Grad :

(Datenfile z.B.: A1/KII/2D/7/20)

Bemerkungen:





A1/KII/2D	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{09} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
A1/KII/2D/4/20	1.812	6.925	15.640	15.662	0.000	0.000	19.455	0.445
A1/KII/2D/7/20	2.258	3.072	3.924	15.461	0.000	0.000	17.521	0.550
Mittelwert	2.035	5.034	12.782	17.761	0.000	0.000	18.525	0.502
Varianz	0.059	3.345	3.152	1.531	0.000	0.000	0.359	0.002
Streuung	0.221	1.821	2.538	1.531	0.000	0.000	0.927	0.058
Mittelw. / Beta	0.040	0.100	0.254	0.552	0.000	0.000	0.368	
Tau max. = 100%	11.0 %	27.2 %	68.2 %	95.8 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	10.2 %	25.9 %	63.5 %	94.9 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
A1/KII/2D/5/200	2.030	2.818	10.532	10.021	0.000	0.000	17.618	0.270
A1/KII/2D/6/200	2.754	3.950	11.054	15.770	0.000	0.000	17.029	0.358
Mittelwert	2.392	3.384	10.293	16.770	0.000	0.000	17.324	0.314
Varianz	0.191	0.235	0.059	0.060	0.000	0.000	0.057	0.002
Streuung	0.436	0.534	0.251	0.070	0.000	0.000	0.295	0.044
Mittelw. / Beta	0.042	0.058	0.139	0.232	0.000	0.000	0.302	
Tau max. = 100%	13.8 %	13.9 %	52.4 %	92.8 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	12.9 %	13.1 %	58.9 %	90.9 %	0.0 %	0.0 %	99.5 %	
A1/KII/2D/1/400	0.129	0.440	6.678	15.485	0.000	0.000	17.794	0.552
A1/KII/2D/3/400	0.309	0.239	3.215	12.543	0.000	0.000	14.657	0.482
Mittelwert	0.126	0.336	4.946	14.023	0.000	0.000	16.195	0.532
Varianz	0.000	0.011	2.399	0.178	0.000	0.000	2.967	0.002
Streuung	0.000	0.104	1.730	1.475	0.000	0.000	1.539	0.050
Mittelw. / Beta	0.002	0.006	0.097	0.548	0.000	0.000	0.284	
Tau max. = 100%	0.8 %	2.1 %	30.5 %	62.6 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	0.7 %	1.9 %	28.7 %	59.7 %	0.0 %	0.0 %	97.4 %	
A1/KII/2D/9/600	0.010	0.176	2.498	7.805	10.705	10.753	10.770	1.197
Mittelwert	0.010	0.176	2.498	7.805	10.705	10.753	10.770	1.197
Mittelw. / Beta	0.000	0.005	0.066	0.129	0.291	0.292	0.293	
Tau max. = 100%	0.1 %	1.5 %	23.2 %	67.8 %	33.4 %	39.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	0.1 %	1.0 %	19.5 %	63.4 %	37.8 %	58.0 %	98.1 %	

U2/QI/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

***** U2/QI/S1 *****

Stahl : IIIU , $f(R)=0.07$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B25
 Zuschlagsart : QUARZKIES
 Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
 Sieblinie : B16
 Koernungsziffer : 3.85
 Wasser-Zement-Wert : 0.88
 Ausbreitmass : 40.5 cm
 Verdichtungsmass : 1.04
 Beta-W,28 : 26.0 N/mm**2
 Beta-W,VD : 30.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.46 N/mm**2

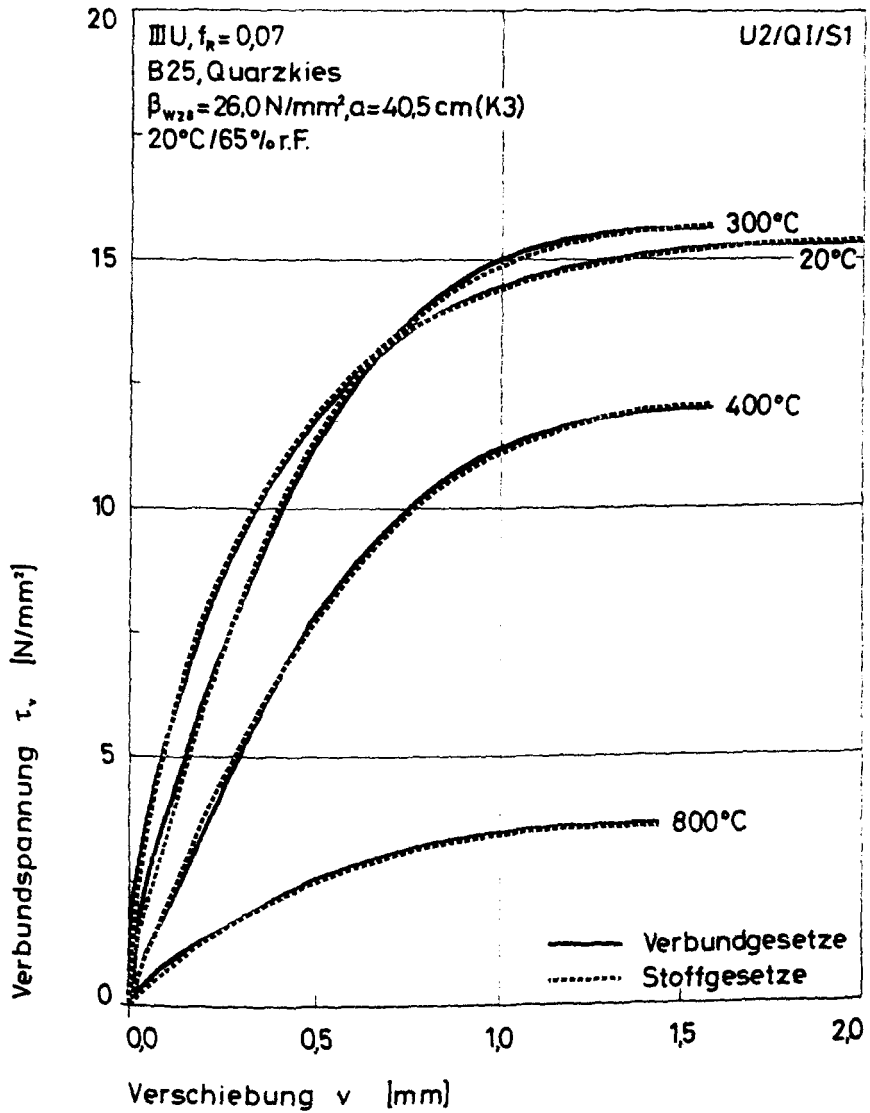
Ausziehversuche :

Inst. Kriechversuche :

Temperatur	Nummer	Anzahl	Belastungsgrad	Anzahl
20 GRD	: 18,19,38,39,58,60	6		
150 Grd	:		0.35 P/P(20)	1 (9)
200 Grd	:		0.50 P/P(20)	1 (8)
300 Grd	: 14	1		
400 Grd	: 16	1		
500 Grd	:			
600 Grd	:			
800 Grd	: 59	1		

(Datenfile z.B.: U2/QI/S1/19/20)

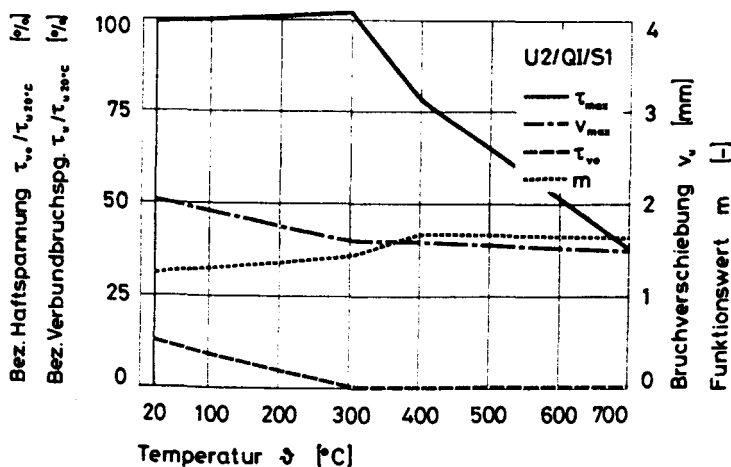
Bemerkungen :



U2/Q1/S1	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{09} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
U2/Q1/S1/18/20	2.577	3.041	5.889	10.615	15.129	15.392	16.952	2.226
U2/Q1/S1/19/20	1.775	1.978	3.773	8.114	13.177	13.565	14.959	2.284
U2/Q1/S1/38/20	1.832	2.994	5.025	9.390	13.550	13.769	14.108	1.801
U2/Q1/S1/39/20	0.000	0.988	4.002	7.569	12.550	12.996	14.112	1.808
U2/Q1/S1/58/20	0.000	4.376	6.582	10.829	15.868	16.163	16.947	2.139
U2/Q1/S1/60/20	0.001	2.454	6.317	9.968	14.898	15.088	15.403	1.757
Mittelwert	1.548	2.639	5.265	9.414	14.196	14.495	15.314	2.002
Varianz	0.896	1.084	1.185	1.474	1.987	1.263	1.130	0.048
Streuung	0.947	1.041	1.089	1.214	1.178	1.124	1.063	0.219
Mittelw. / Beta	0.064	0.109	0.217	0.387	0.584	0.597	0.630	
Tau max. = 100%	10.1 %	17.2 %	34.4 %	61.5 %	92.7 %	94.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	10.0 %	17.1 %	34.0 %	60.9 %	91.8 %	93.7 %	99.0 %	
U2/Q1/S1/14/300	0.000	0.550	3.780	8.052	14.611	14.978	15.622	1.591
Mittelwert	0.000	0.550	3.780	8.052	14.611	14.978	15.622	1.591
Mittelw. / Beta	0.000	0.024	0.163	0.347	0.630	0.646	0.673	
Tau max. = 100%	0.0 %	3.5 %	24.2 %	51.5 %	93.5 %	95.9 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	5.6 %	24.7 %	52.6 %	95.4 %	97.8 %	102 %	
U2/Q1/S1/16/400	0.002	0.107	1.820	5.039	10.896	11.199	11.968	1.588
Mittelwert	0.002	0.107	1.820	5.039	10.896	11.199	11.968	1.588
Mittelw. / Beta	0.000	0.005	0.090	0.248	0.534	0.552	0.590	
Tau max. = 100%	0.0 %	0.9 %	15.2 %	42.1 %	90.5 %	93.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	0.7 %	11.9 %	32.9 %	70.8 %	73.1 %	78.2 %	
U2/Q1/S1/59/800	0.000	0.221	0.897	1.732	3.374	3.474	3.638	1.444
Mittelwert	0.000	0.221	0.897	1.732	3.374	3.474	3.638	1.444
Mittelw. / Beta	0.000	0.042	0.173	0.333	0.649	0.668	0.700	
Tau max. = 100%	0.0 %	6.1 %	24.7 %	47.6 %	92.7 %	95.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.4 %	5.9 %	11.3 %	22.0 %	22.7 %	23.8 %	

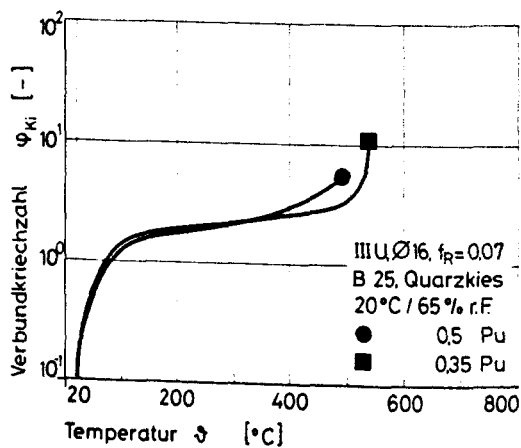
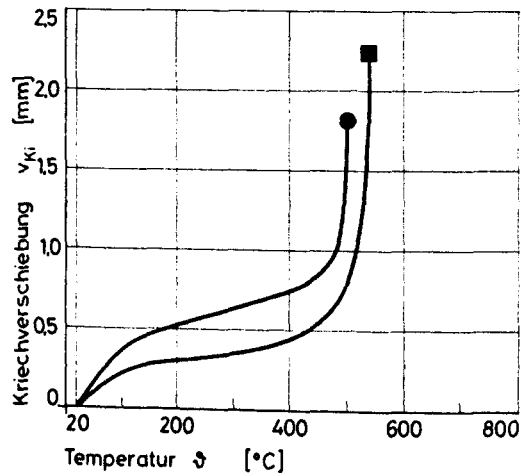
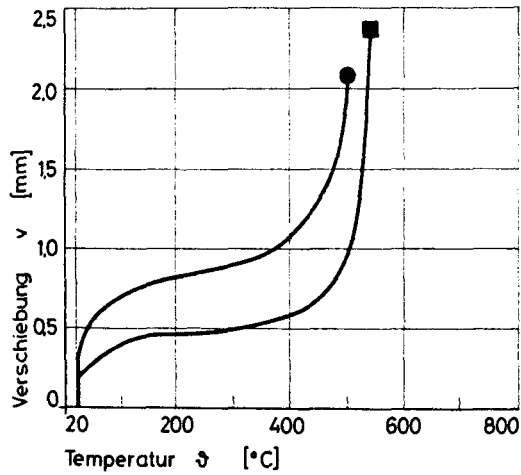
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie U2/QI/S1
für die Verbundfunktion:

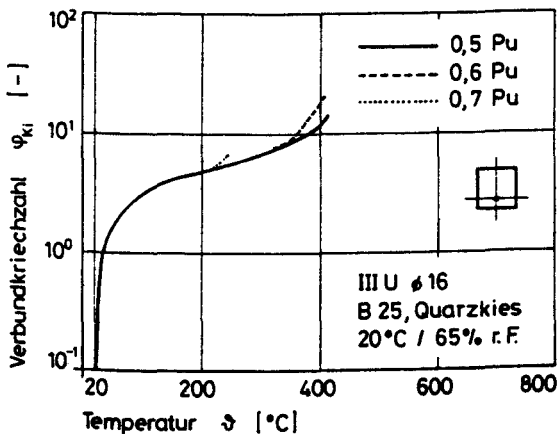
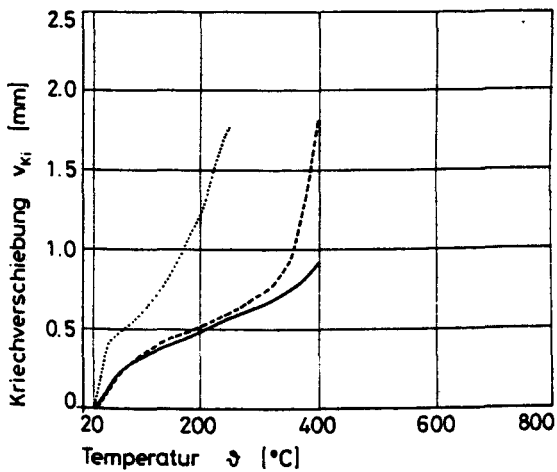
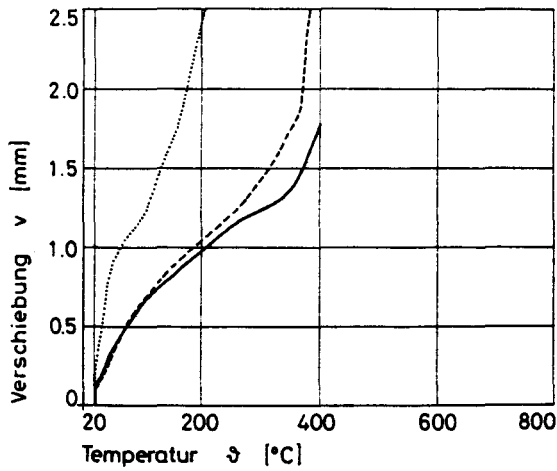
$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$

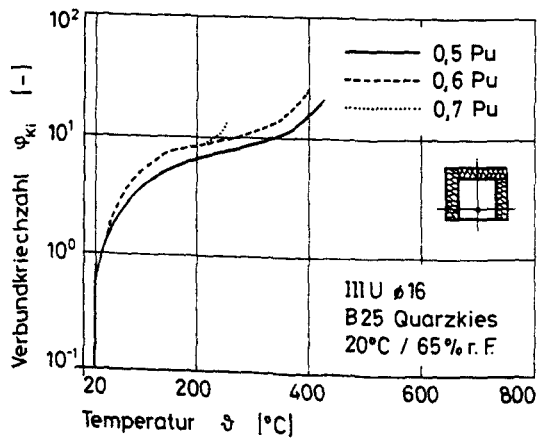
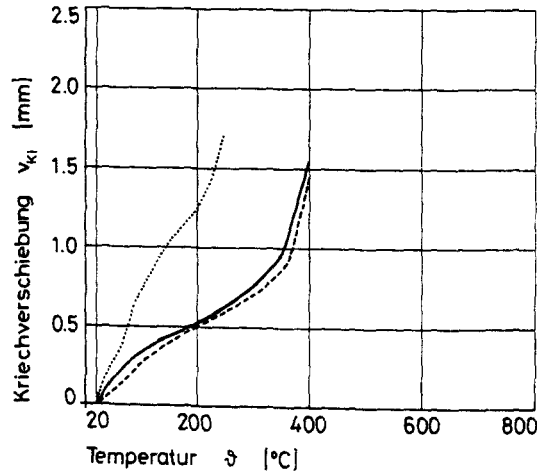
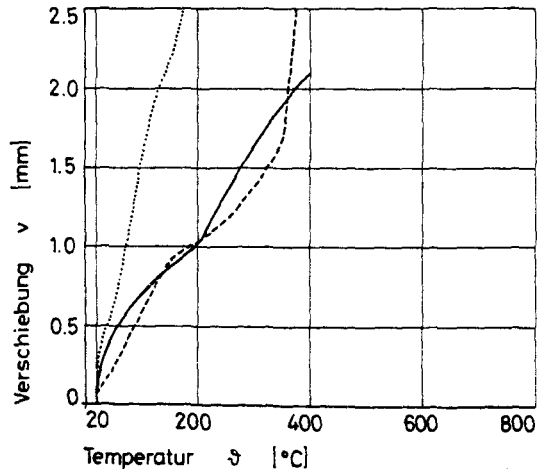


U2/QI/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	1,90	15,31	2,03	1,23
150 °C	-	-	-	-
200 °C	-	-	-	-
300 °C	0,00	15,62	1,59	1,42
400 °C	0,00	11,97	1,59	1,66
500 °C	-	-	-	-
600 °C	-	-	-	-
700 °C	0,00	3,64	1,44	1,61

2. Instationäre Kriechversuche







U3/QI/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

***** U3/QI/S1 *****

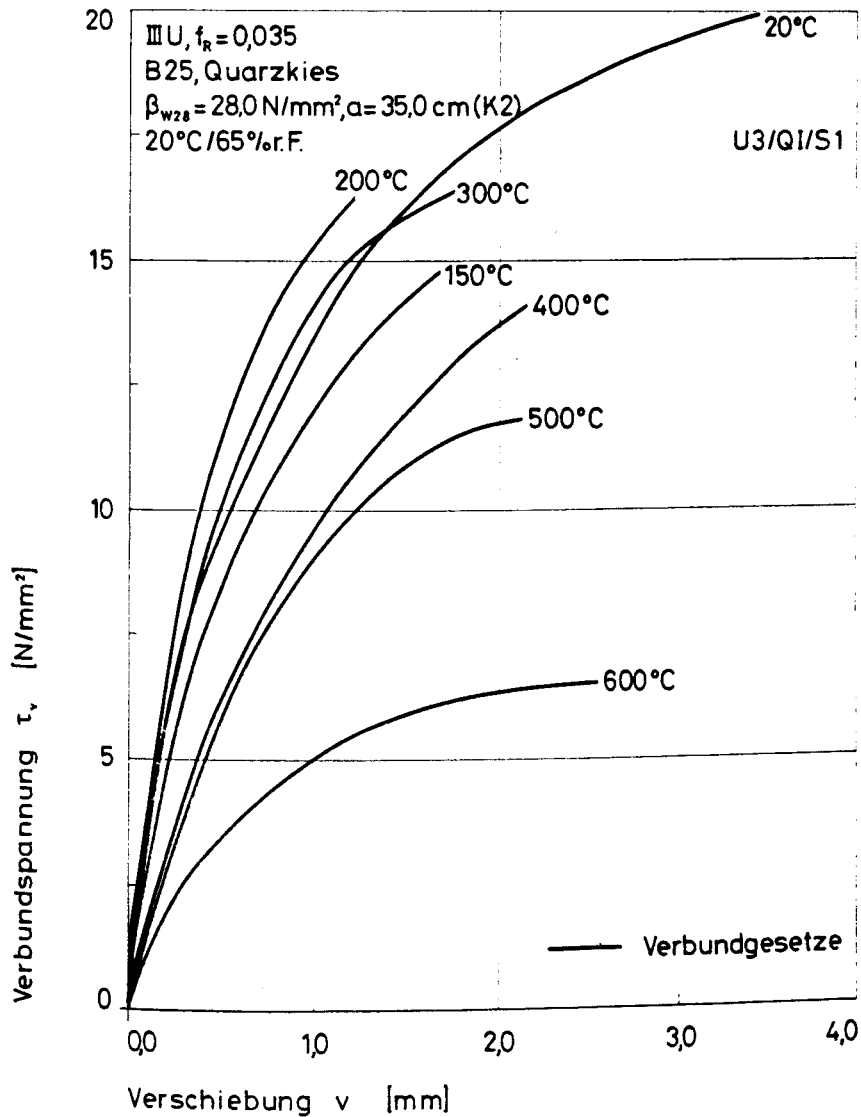
Stahl : IIIU , $f(R)=0.035$
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betonklasse : B25
Zuschlagsart : QUARZKIES
Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
Sieblinie : B16
Koernungsziffer : 3.73
Wasser-Zement-Wert : 0.88
Ausbreitmass : 35.0 cm
Verdichtungsmass : 1.12
Beta-W,28 : 28.0 N/mm**2
Beta-W,VD : 33.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.58 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grd : 3,8,18
150 Grd : 15
200 Grd : 2
300 Grd : 4,14
400 Grd : 19
500 Grd : 17
600 Grd : 13
700 Grd :

(Datenfile z.B.: U3/QI/S1/13/600)

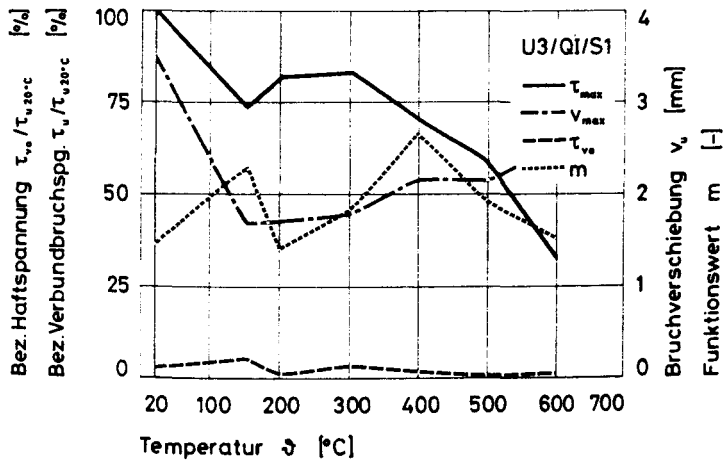
Bemerkungen : Die bez. Rippenflaeche wurde durch entfernen jeder zweiten Rippe eines IIIU , $f(R)=0.07$ erzeugt!



U3/QI/S1	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{09} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
U3/QI/S1/20/3	1.298	1.466	3.758	10.600	16.393	16.968	20.279	2.187
U3/QI/S1/20/8	0.107	0.933	2.367	5.050	10.184	11.157	19.486	4.051
U3/QI/S1/20/18	0.107	1.632	2.781	6.379	11.490	12.121	19.938	4.136
Mittelwert	0.504	1.344	2.969	7.343	12.689	13.415	19.901	3.458
Varianz	0.315	0.089	0.340	5.598	7.144	6.466	0.105	0.809
Streuung	0.561	0.298	0.583	2.366	2.673	2.543	0.325	0.899
Mittelw. / Beta	0.016	0.044	0.097	0.239	0.413	0.437	0.648	
Tau max. = 100%	2.5 %	6.8 %	14.9 %	36.9 %	63.8 %	67.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.5 %	6.7 %	14.8 %	36.5 %	63.1 %	66.7 %	99.0 %	
U3/QI/S1/200/2	0.183	1.381	3.465	8.633	14.729	15.289	16.260	1.690
Mittelwert	0.183	1.381	3.465	8.633	14.729	15.289	16.260	1.690
Mittelw. / Beta	0.006	0.045	0.114	0.284	0.484	0.503	0.535	
Tau max. = 100%	1.1 %	8.5 %	21.3 %	53.1 %	90.6 %	94.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.9 %	6.9 %	17.4 %	43.4 %	74.0 %	76.8 %	81.7 %	
U3/QI/S1/300/4	1.228	1.656	3.386	7.829	14.927	15.590	16.747	1.285
U3/QI/S1/300/14	0.077	1.709	3.193	6.591	11.943	12.556	16.481	2.232
Mittelwert	0.653	1.683	3.289	7.210	13.435	14.073	16.614	1.755
Varianz	0.331	0.001	0.009	0.383	2.226	2.301	0.018	0.224
Streuung	0.576	0.027	0.097	0.619	1.492	1.517	0.193	0.473
Mittelw. / Beta	0.022	0.057	0.112	0.246	0.459	0.480	0.567	
Tau max. = 100%	3.9 %	10.1 %	19.8 %	43.4 %	80.8 %	84.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	3.3 %	8.5 %	16.5 %	36.2 %	67.5 %	70.7 %	89.5 %	
U3/QI/S1/400/19	0.347	0.652	1.536	4.223	8.961	9.554	14.018	2.153
Mittelwert	0.347	0.692	1.596	4.223	8.961	9.554	14.018	2.153
Mittelw. / Beta	0.014	0.027	0.062	0.164	0.349	0.372	0.545	
Tau max. = 100%	2.5 %	4.9 %	11.4 %	30.1 %	63.9 %	68.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.7 %	3.5 %	8.0 %	21.2 %	45.0 %	48.0 %	70.4 %	
U3/QI/S1/500/17	0.030	0.158	0.975	3.662	8.499	9.047	11.776	2.131
Mittelwert	0.030	0.158	0.975	3.662	8.499	9.047	11.776	2.131
Varianz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Streuung	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mittelw. / Beta	0.002	0.008	0.051	0.190	0.440	0.469	0.610	
Tau max. = 100%	0.3 %	1.3 %	8.3 %	31.1 %	72.2 %	76.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.2 %	0.8 %	4.9 %	18.4 %	42.7 %	45.5 %	59.2 %	
U3/QI/S1/600/13	0.076	0.210	0.927	2.335	4.745	4.994	6.487	2.549
Mittelwert	0.076	0.210	0.927	2.335	4.745	4.994	6.487	2.549
Mittelw. / Beta	0.006	0.017	0.077	0.193	0.392	0.413	0.536	
Tau max. = 100%	1.2 %	3.2 %	14.3 %	36.0 %	73.2 %	77.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.4 %	1.1 %	4.7 %	11.7 %	23.8 %	25.1 %	32.6 %	

Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie U3/QI/S1
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}} \right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



U3/QI/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	0,50	19,90	3,46	1,45
150 °C	1,03	14,70	1,68	2,29
200 °C	0,18	16,26	1,69	1,41
300 °C	0,65	16,61	1,76	1,80
400 °C	0,35	14,02	2,15	2,65
500 °C	0,03	11,78	2,13	1,90
600 °C	0,08	6,49	2,55	1,50
700 °C	-	-	-	-

U4/QI/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

***** U4/QI/S1 *****

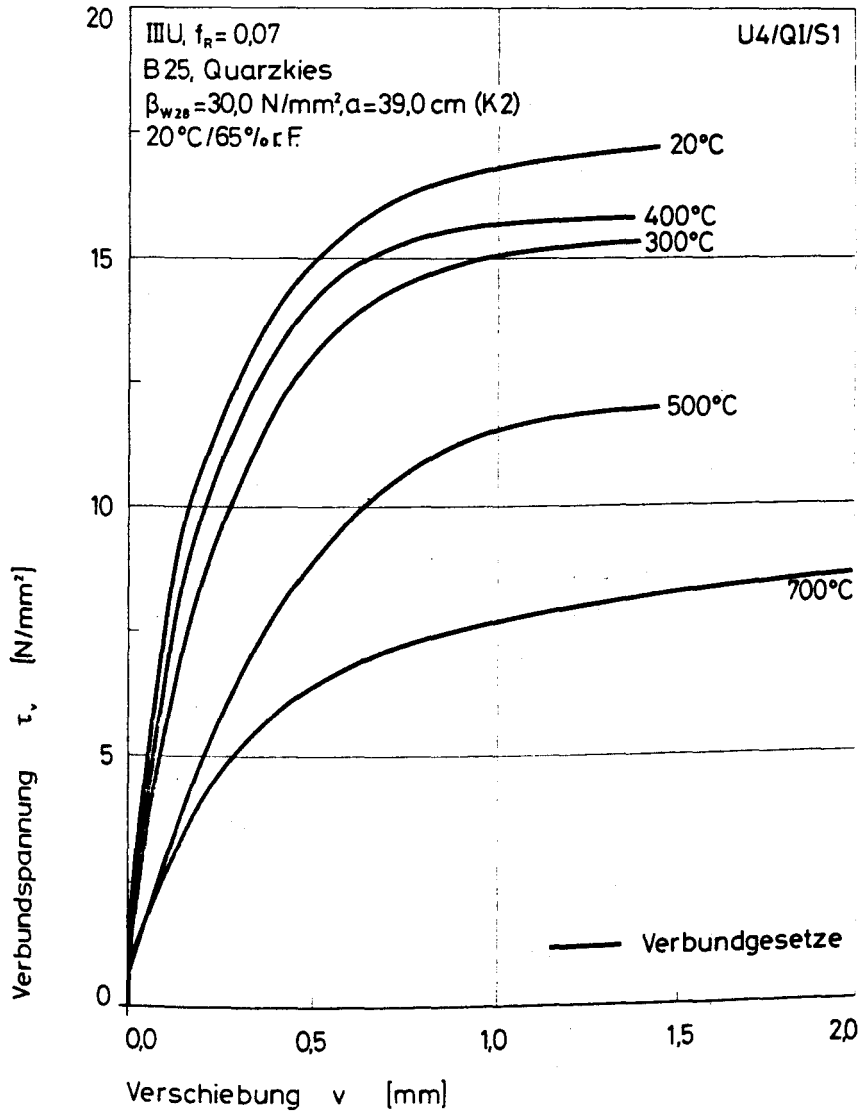
Stahl : IIIU , $f(R)=0.07$
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 2 ds
Betonklasse : B25
Zuschlagsart : QUARZKIES
Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
Sieblinie : B16
Koernungsziffer : 3.73
Wasser-Zement-Wert : 0.86
Ausbreitmass : 39.0 cm
Verdichtungsmass : 1.07
Beta-W,28 : 30.0 N/mm**2
Beta-W,VD : 32.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.48 N/mm**2

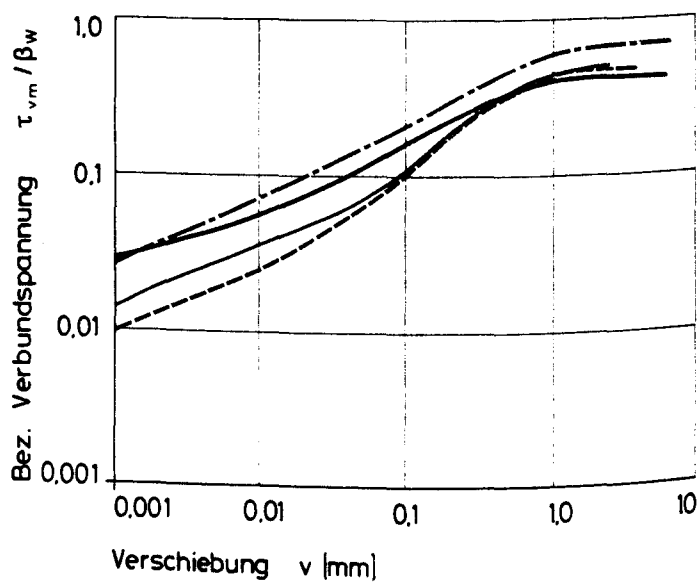
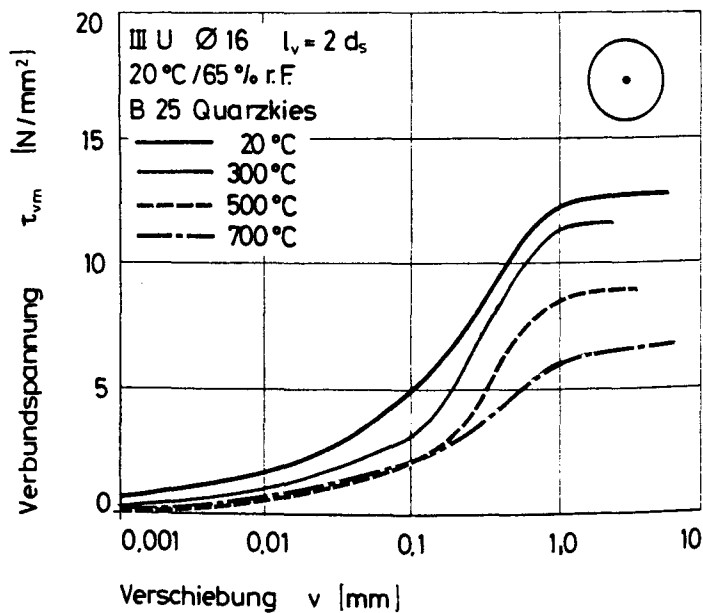
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grd : 9,10,19,20,29,31,36,38
150 Grd :
200 Grd :
300 Grd : 4,6,8,23,27,30,32,33
400 Grd : 34,35
500 Grd : 3,7,24,28,37
600 Grd :
700 Grd : 2,5,25

(Datenfile z.B.: U4/QI/S1/28/500)

Bemerkungen : die Versuche wurden nach vorgegebener Verschiebungsgeschwindigkeit gesteuert.

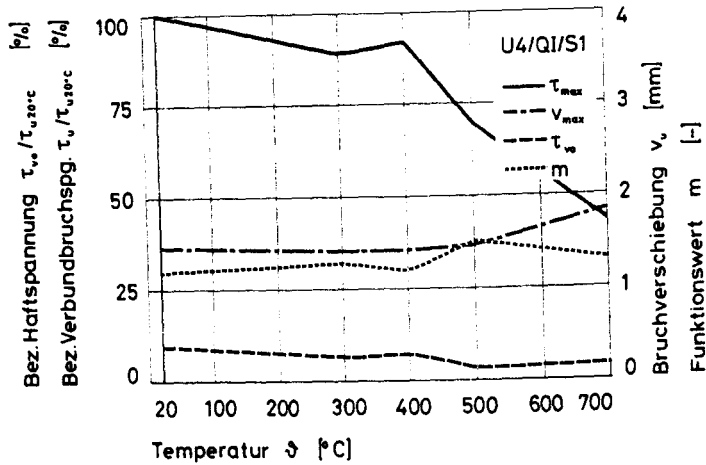




U4/QI/S1	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{05} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
U4/QI/S1/9/20	0.030	0.769	5.135	8.883	12.432	12.597	13.086	1.616
U4/QI/S1/10/20	1.742	2.531	4.900	7.791	11.573	11.837	12.249	1.590
Mittelwert	0.886	1.650	5.018	8.337	12.002	12.217	12.668	1.603
Varianz	0.733	0.776	0.014	0.298	0.184	0.144	0.175	0.000
Streuung	0.856	0.881	0.118	0.546	0.430	0.380	0.419	0.013
Mittelw. / Beta	0.029	0.054	0.165	0.273	0.394	0.401	0.415	
Tau max. = 100%	7.0 %	13.0 %	39.6 %	65.8 %	94.7 %	96.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	6.3 %	12.9 %	39.2 %	65.2 %	93.8 %	95.5 %	99.0 %	
U4/QI/S1/4/300	0.298	0.864	2.652	5.852	10.927	11.082	11.214	1.177
U4/QI/S1/6/300	0.336	1.263	4.289	8.510	12.693	12.935	13.102	1.300
U4/QI/S1/8/300	0.270	1.210	4.291	7.738	0.000	0.000	10.139	0.911
Mittelwert	0.302	1.112	3.744	7.367	11.810	12.008	11.485	1.129
Varianz	0.001	0.031	0.596	1.246	0.780	0.858	1.500	0.026
Streuung	0.027	0.177	0.772	1.116	0.883	0.927	1.225	0.162
Mittelw. / Beta	0.010	0.038	0.129	0.253	0.406	0.413	0.395	
Tau max. = 100%	2.6 %	9.7 %	32.6 %	64.1 %	102 %	104 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.4 %	8.8 %	29.6 %	58.2 %	93.2 %	94.8 %	90.7 %	
U4/QI/S1/3/500	0.334	0.454	1.577	4.115	8.051	8.313	8.924	1.562
U4/QI/S1/7/500	0.056	0.516	2.219	4.903	8.558	8.781	8.962	1.166
Mittelwert	1.135	1.488	1.898	4.512	8.303	8.547	8.943	1.374
Varianz	0.019	0.001	0.103	0.158	0.064	0.055	0.006	0.043
Streuung	0.139	0.032	0.321	0.397	0.253	0.234	0.019	0.208
Mittelw. / Beta	0.010	0.025	0.099	0.236	0.435	0.447	0.468	
Tau max. = 100%	2.2 %	5.4 %	21.2 %	50.5 %	92.8 %	95.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.5 %	3.8 %	15.0 %	35.6 %	65.5 %	67.5 %	70.6 %	
U4/QI/S1/2/700	0.402	0.571	1.710	3.028	4.933	5.066	5.289	1.376
U4/QI/S1/5/700	0.140	0.844	2.336	4.332	6.902	7.105	8.105	1.901
Mittelwert	0.271	0.708	2.023	3.680	5.918	6.085	6.696	1.638
Varianz	0.017	0.019	0.098	0.425	0.969	1.039	1.980	0.069
Streuung	0.131	0.137	0.313	0.652	0.985	1.020	1.407	0.262
Mittelw. / Beta	0.027	0.071	0.204	0.370	0.595	0.612	0.674	
Tau max. = 100%	4.0 %	10.6 %	30.2 %	55.0 %	88.4 %	90.9 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.1 %	5.6 %	16.0 %	29.0 %	46.7 %	48.0 %	52.9 %	

Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie U4/QI/S1
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



U4/QI/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	1,60	17,19	1,47	1,19
150 °C	-	-	-	-
200 °C	-	-	-	-
300 °C	1,13	15,31	1,41	1,27
400 °C	1,26	15,76	1,40	1,19
500 °C	0,53	11,99	1,47	1,50
600 °C	-	-	-	-
700 °C	0,72	7,48	1,84	1,32

G/QI/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

***** G/QI/S1 *****

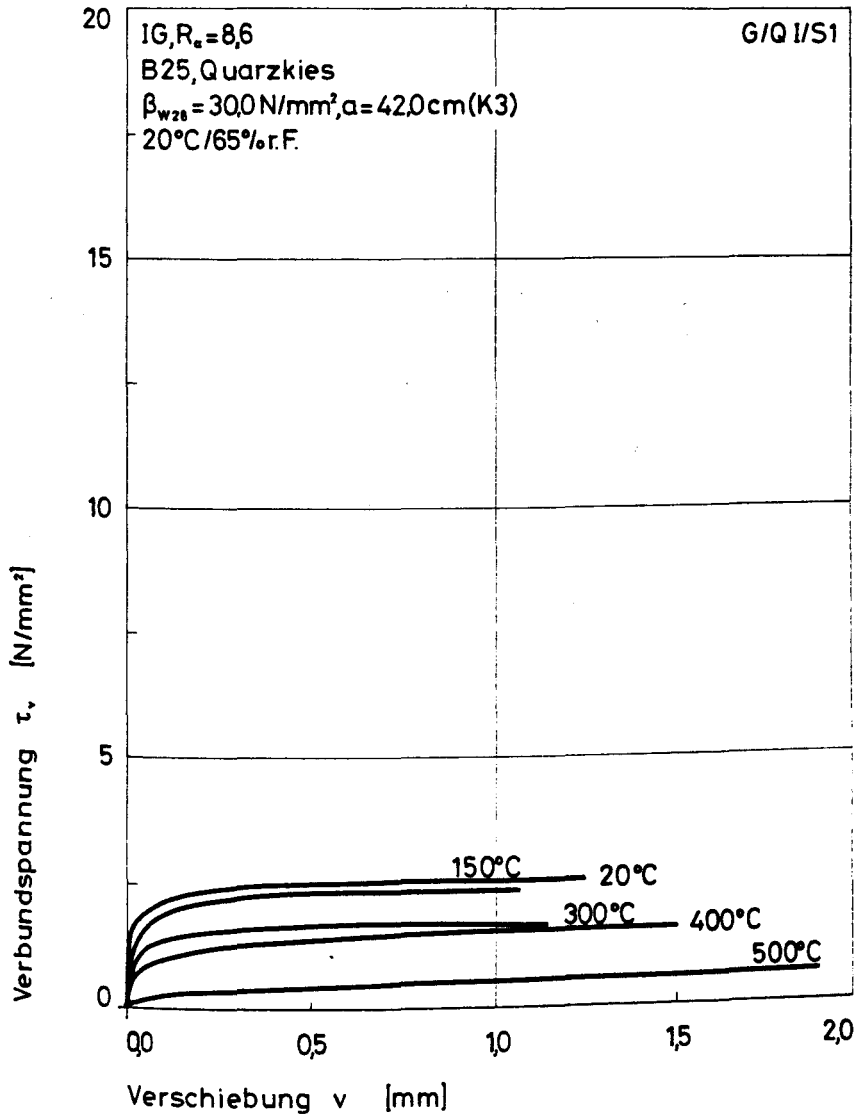
Stahl : IG , R(a)=8.6
Stabdurchmesser : 16 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betonklasse : B25
Zuschlagsart : QUARZKIES
Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
Sieblinie : B16
Koernungsziffer : 3.73
Wasser-Zement-Wert : 0.83
Ausbreitmass : 42.0 cm
Verdichtungsmass : 1.07
Beta-W,28 : 30.0 N/mm**2
Beta-W,VD : 30.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.25 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grd : 11,12,19
150 Grd : 15,20
200 Grd : 13
300 Grd : 14,16
400 Grd : 18
500 Grd : 17
600 Grd :
700 Grd :

(Datenfile z.B.: G/QI/S1/16/300)

Bemerkungen : Es ergeben sich nahezu bilineare Verbund-
gesetze.



G/QI/S1	T_0 N/mm ²	T_{001} N/mm ²	T_{01} N/mm ²	T_{02} N/mm ²	T_{03} N/mm ²	T_{10} N/mm ²	T_u N/mm ²	V_{max} mm
G/QI/S1/11/20	1.427	1.615	1.834	1.992	2.026	2.026	2.027	0.779
G/QI/S1/12/20	0.632	2.529	0.000	0.000	0.000	0.000	2.620	0.332
G/QI/S1/19/20	1.490	1.807	2.426	2.886	3.062	3.064	3.065	1.116
G/QI/S1/15/150	1.015	1.066	1.824	2.105	2.211	2.215	2.294	1.425
G/QI/S1/20/150	0.440	0.540	1.926	2.352	0.000	0.000	2.496	0.376
G/QI/S1/13/200	0.099	0.200	0.877	1.468	2.472	2.608	3.219	1.862
G/QI/S1/14/300	0.097	0.434	1.220	1.343	1.478	1.477	1.509	1.352
G/QI/S1/16/300	0.551	1.055	1.529	1.838	0.000	0.000	1.989	0.537
G/QI/S1/18/400	0.213	0.602	0.969	1.298	1.545	1.522	1.575	1.355
G/QI/S1/17/500	0.018	0.133	0.235	0.351	0.520	0.531	0.607	1.900

5. Ausziehversuche Haken, Winkelhaken und Schlaufenhaken

***** AWW/G/2 *****

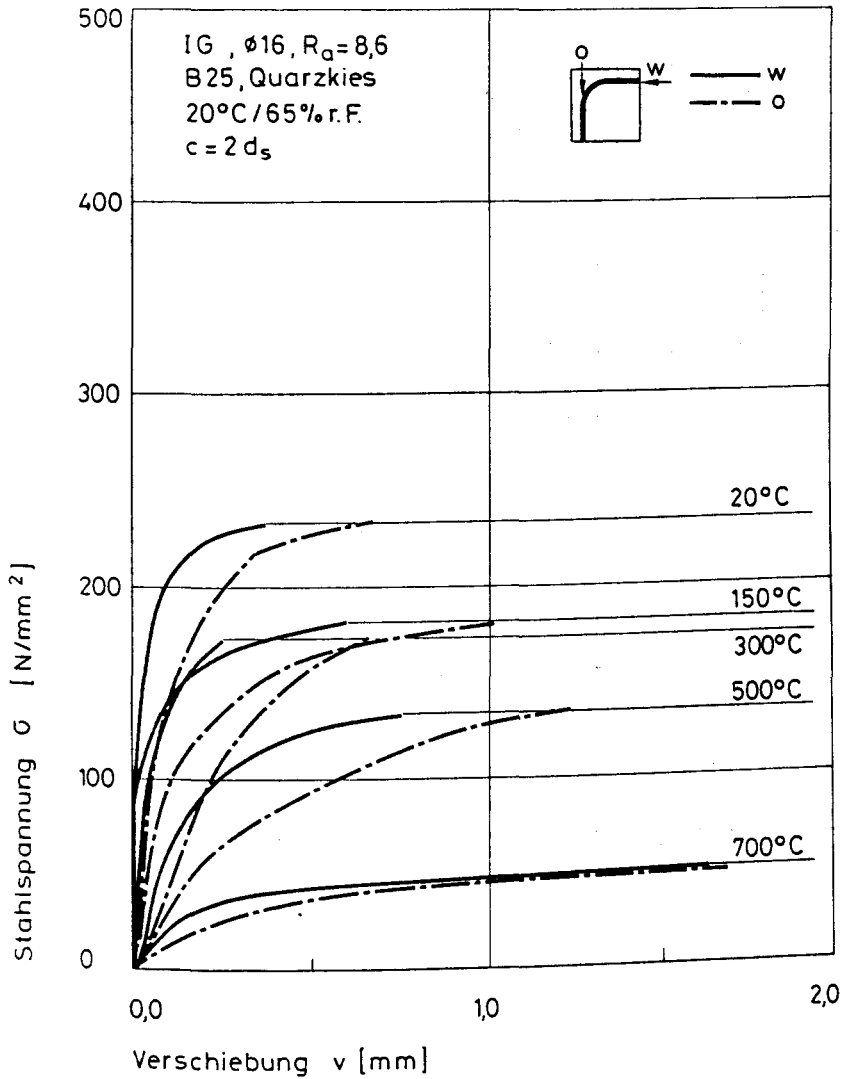
Stahl : IG , R(a) = 8.6
Stabdurchmesser : 16 mm
Hakenwinkel : 90 Grad
Verbundlaenge : 13.75 ds
Betondeckung : 2 ds
Beton : B25
Zuschlagsart : Quarzkies
Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
Sieblinie : B16
Koernungsziffer : 3.76
Wasser-Zement-Wert : 0.80
Ausbreitmass : 37.5 cm
Verdichtungsmass : 1.09
Beta-w,28 : 33.0 N/mm**2
Beta-w,VD : 33.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.46 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 2,4,9
150 Grad : 6,10
200 Grad :
300 Grad : 7,12
400 Grad :
500 Grad : 11,14
600 Grad :
700 Grad : 3

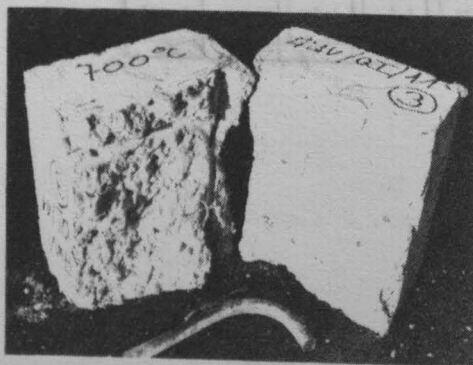
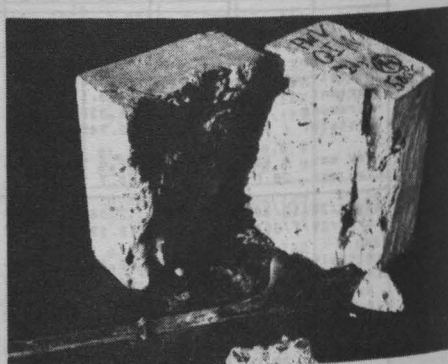
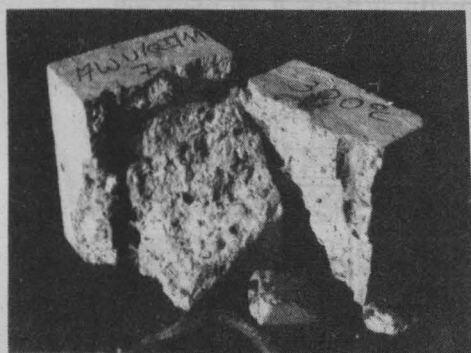
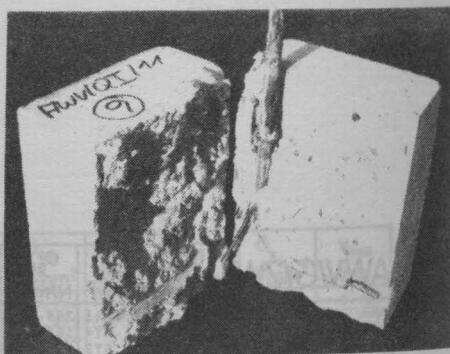
(Datenfile z.B.: AWW/G/2W/7/300)

Bemerkungen:



AWV/G/20	G_0 N/mm ²	G_{q01} N/mm ²	G_{q1} N/mm ²	G_{q3} N/mm ²	G_{q5} N/mm ²	G_{q7} N/mm ²	G_u N/mm ²	v_{max} mm
AWV/G/20/2/20	49.120	55.914	149.169	224.134	0.000	0.000	241.744	0.493
AWV/G/20/3/20	24.485	46.354	105.627	166.403	208.477	0.000	209.505	1.096
AWV/G/20/4/20	39.894	77.718	166.149	239.434	0.000	0.000	252.939	0.519
Mittelwert	37.833	59.993	140.315	203.530	208.477	0.000	234.729	0.673
Varianz	103.271	172.188	649.682	988.943	0.000	0.000	339.022	0.056
Streuung	10.162	13.122	25.483	31.447	0.000	0.000	18.413	0.236
Mittelw. / Beta	1.472	2.335	5.460	8.171	8.112	0.000	9.133	
Tau max. = 100%	16.1 %	25.6 %	59.8 %	89.5 %	88.8 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	16.0 %	25.3 %	59.2 %	88.6 %	87.9 %	0.0 %	99.0 %	
AWV/G/20/6/150	-0.025	10.430	121.343	181.028	0.000	0.000	207.411	0.767
AWV/G/20/10/150	0.050	34.930	72.802	104.485	148.617	153.403	158.848	1.231
Mittelwert	0.025	22.680	97.022	142.756	148.617	153.403	183.129	0.999
Varianz	0.001	150.063	586.633	1464.7	0.000	0.000	589.591	0.054
Streuung	0.025	12.250	24.221	38.272	0.000	0.000	24.282	0.232
Mittelw. / Beta	0.001	0.863	3.805	5.598	5.828	6.016	7.182	
Tau max. = 100%	0.0 %	12.4 %	53.0 %	78.0 %	81.2 %	83.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	9.7 %	41.3 %	60.8 %	63.3 %	65.4 %	78.0 %	
AWV/G/20/12/300	0.222	0.574	37.730	113.054	0.000	0.000	166.125	0.713
AWV/G/20/17/300	0.039	1.670	57.555	131.369	0.000	0.000	175.371	0.604
Mittelwert	0.164	1.122	47.652	122.221	0.000	0.000	170.748	0.658
Varianz	0.004	0.300	98.060	84.043	0.000	0.000	21.372	0.003
Streuung	0.065	0.548	3.303	3.163	0.000	0.000	4.623	0.054
Mittelw. / Beta	0.007	0.046	1.945	4.889	0.000	0.000	6.969	
Tau max. = 100%	0.1 %	0.7 %	27.3 %	71.6 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.1 %	0.5 %	20.3 %	52.1 %	0.0 %	0.0 %	72.7 %	
AWV/G/20/11/500	-0.015	1.327	18.401	48.234	114.100	117.323	118.537	1.027
AWV/G/20/14/500	-0.178	0.596	49.522	96.566	136.005	140.059	143.970	1.445
Mittelwert	-0.194	0.962	33.962	72.400	125.052	128.991	133.754	1.236
Varianz	0.000	0.134	242.123	589.996	119.937	122.501	231.542	0.044
Streuung	0.000	0.366	15.561	24.166	10.953	11.068	15.217	0.209
Mittelw. / Beta	-0.012	0.060	2.109	4.437	7.767	8.012	8.308	
Tau max. = 100%	-0.1 %	0.7 %	25.4 %	54.1 %	33.5 %	36.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.1 %	0.4 %	14.5 %	30.3 %	53.3 %	55.0 %	57.0 %	

AWV/G/2W	σ_0 N/mm ²	σ_{q01} N/mm ²	σ_{q1} N/mm ²	σ_{q3} N/mm ²	σ_{q9} N/mm ²	σ_{10} N/mm ²	σ_u N/mm ²	v_{max} mm
AWV/G/2W/2/20	71.730	85.601	208.818	0.000	0.000	0.000	242.455	0.326
AWV/G/2W/3/20	0.050	111.574	167.230	196.415	0.000	0.000	209.684	0.549
AWV/G/2W/4/20	-0.124	144.673	235.860	0.000	0.000	0.000	252.964	0.227
Mittelwert	35.828	113.949	203.970	196.415	0.000	0.000	235.034	0.365
Varianz	1284.5	584.405	736.768	0.000	0.000	0.000	339.726	0.017
Streuung	35.840	24.174	28.227	0.000	0.000	0.000	18.432	0.132
Mittelw. / Beta	1.394	4.424	7.937	7.643	0.000	0.000	9.145	
Tau max. = 100%	15.2 %	48.5 %	86.8 %	83.6 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	15.1 %	48.0 %	85.3 %	82.7 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
AWV/G/2W/6/150	91.440	133.836	184.513	206.722	0.000	0.000	207.913	0.414
AWV/G/2W/10/150	54.019	57.177	96.678	130.459	0.000	0.000	159.709	0.787
Mittelwert	72.730	95.506	140.595	168.590	0.000	0.000	183.811	0.600
Varianz	350.082	1469.1	1928.7	1454.0	0.000	0.000	580.906	0.035
Streuung	18.711	38.330	43.918	38.132	0.000	0.000	24.102	0.187
Mittelw. / Beta	2.852	3.745	5.514	6.611	0.000	0.000	7.208	
Tau max. = 100%	39.6 %	52.0 %	76.5 %	91.7 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	31.0 %	40.7 %	59.9 %	71.8 %	0.0 %	0.0 %	78.3 %	
AWV/G/2W/12/300	0.229	2.080	125.574	0.000	0.000	0.000	167.159	0.282
AWV/G/2W/7/300	0.050	18.139	141.093	0.000	0.000	0.000	176.534	0.291
Mittelwert	0.139	10.109	133.334	0.000	0.000	0.000	171.847	0.256
Varianz	0.008	64.473	60.210	0.000	0.000	0.000	21.973	0.001
Streuung	0.030	8.030	7.760	0.000	0.000	0.000	4.688	0.025
Mittelw. / Beta	0.006	0.413	5.442	0.000	0.000	0.000	7.014	
Tau max. = 100%	0.1 %	5.9 %	77.6 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.1 %	4.3 %	56.8 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	73.2 %	
AWV/G/2W/11/500	0.040	0.843	46.653	36.118	0.000	0.000	118.562	0.681
AWV/G/2W/14/500	-0.050	0.566	76.674	120.443	0.000	0.000	148.742	0.823
Mittelwert	-0.010	0.705	61.663	108.281	0.000	0.000	133.652	0.752
Varianz	0.002	0.019	225.315	147.926	0.000	0.000	227.708	0.005
Streuung	0.050	0.139	15.011	12.163	0.000	0.000	15.030	0.071
Mittelw. / Beta	-0.001	0.044	3.830	6.725	0.000	0.000	8.301	
Tau max. = 100%	-0.0 %	0.5 %	46.1 %	81.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	0.3 %	26.3 %	46.1 %	0.0 %	0.0 %	56.9 %	



***** AH/G/2 *****

Stahl : IG , R(a) = 8.6

Stabdurchmesser : 16 mm

Hakenwinkel : 150 Grad

Verbundlaenge : 13.25 ds

Betondeckung : 2 ds

Beton : B25

Zuschlagsart : Quarzkies

Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.

Sieblinie : B16

Koernungsziffer : 3.76

Wasser-Zement-Wert : 0.80

Ausbreitmass : 37.5 cm

Verdichtungsmaass : 1.09

Beta-w,28 : 33.0 N/mm**2

Beta-w,VD : 33.0 N/mm**2

Beta-SZ,VD : 2.46 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 3,6

150 Grad :

200 Grad : 1

300 Grad : 2

400 Grad : 5

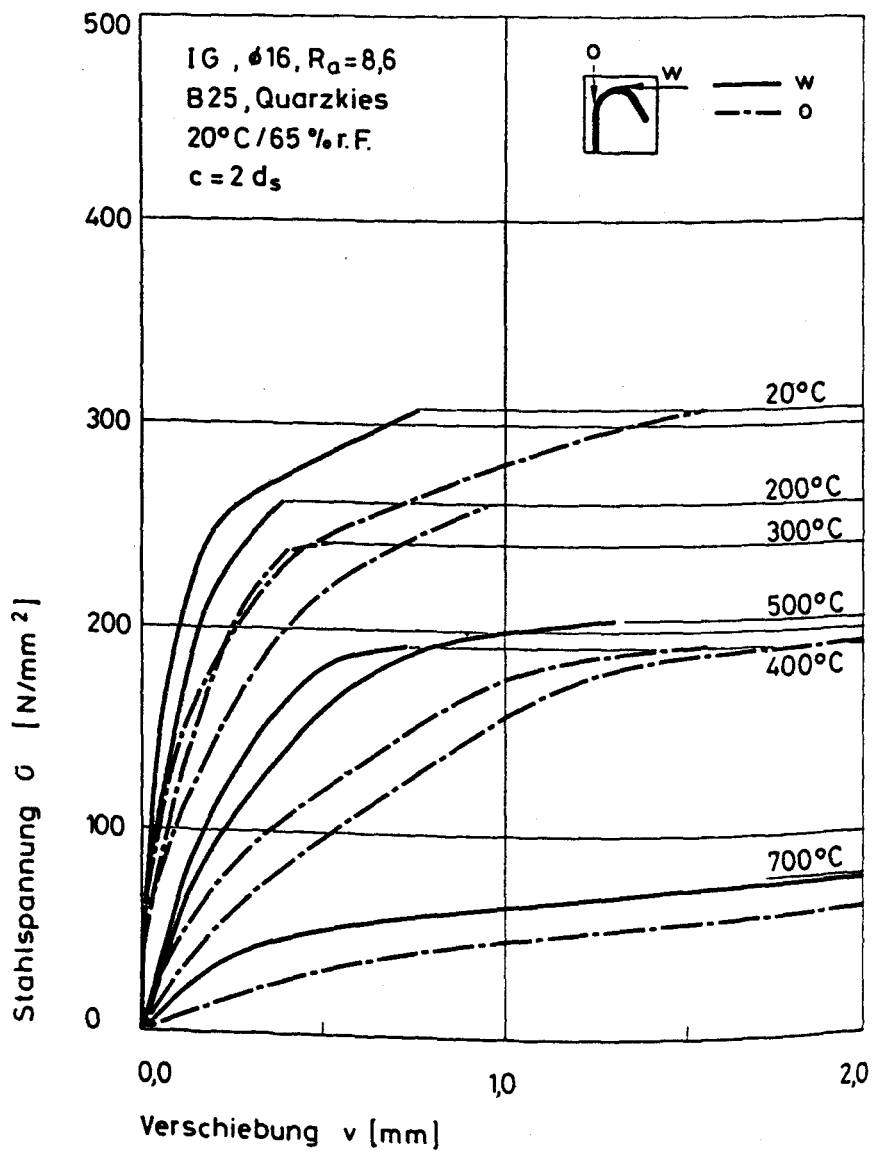
500 Grad : 4

600 Grad :

700 Grad : 7

(Datenfile z.B.: AH/G/2W/5/400)

Bemerkungen:



AH/G/2W	G_0 N/mm ²	G_{001} N/mm ²	G_{01} N/mm ²	G_{03} N/mm ²	G_{05} N/mm ²	G_{10} N/mm ²	G_u N/mm ²	v_{max} mm
AB/G/2W/6/20	32.289	75.950	189.192	248.314	324.955	0.000	325.783	0.939
AB/G/2W/3/20	99.448	90.407	214.606	279.845	0.000	0.000	299.279	0.596
Mittelwert	65.868	83.179	201.899	264.080	324.955	0.000	312.531	0.767
Mittelw. / Beta	2.146	2.709	6.577	8.602	10.585	0.000	10.180	
Tau max. = 100%	21.1 %	26.6 %	64.6 %	84.5 %	104 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	20.9 %	26.4 %	64.0 %	83.7 %	102 %	0.0 %	100.0 %	
AB/G/2W/1/200	98.185	75.527	162.413	231.257	0.000	0.000	261.708	0.394
Mittelwert	98.185	75.527	162.413	231.257	0.000	0.000	261.708	0.394
Mittelw. / Beta	3.230	2.484	5.343	7.607	0.000	0.000	8.609	
Tau max. = 100%	37.5 %	28.9 %	62.1 %	88.4 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	31.4 %	24.2 %	52.0 %	74.0 %	0.0 %	0.0 %	83.7 %	
AB/G/2W/5/400	0.000	9.120	67.162	141.277	0.000	0.000	191.440	0.733
Mittelwert	0.000	9.120	67.162	141.277	0.000	0.000	191.440	0.733
Mittelw. / Beta	0.000	0.355	2.613	5.497	0.000	0.000	7.449	
Tau max. = 100%	0.0 %	4.8 %	35.1 %	73.8 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	2.9 %	21.5 %	45.2 %	0.0 %	0.0 %	61.3 %	
AB/G/2W/4/500	0.000	2.853	57.651	117.401	196.545	199.856	204.630	1.312
Mittelwert	0.000	2.853	57.651	117.401	196.545	199.856	204.630	1.312
Mittelw. / Beta	0.000	0.148	2.987	6.083	10.184	10.355	10.603	
Tau max. = 100%	0.0 %	1.4 %	28.2 %	57.4 %	96.0 %	97.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	0.9 %	18.4 %	37.6 %	62.9 %	63.9 %	65.5 %	
AB/G/2W/7/700	0.000	1.383	18.832	41.732	62.955	64.667	76.505	2.036
Mittelwert	0.000	1.383	18.832	41.732	62.955	64.667	76.505	2.036
Mittelw. / Beta	0.000	0.138	1.883	4.173	6.295	6.467	7.650	
Tau max. = 100%	0.0 %	1.8 %	24.6 %	54.5 %	82.3 %	84.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	0.4 %	6.0 %	13.4 %	20.1 %	20.7 %	24.5 %	

AH/G/20	G_0 N/mm ²	G_{001} N/mm ²	G_{01} N/mm ²	G_{02} N/mm ²	G_{03} N/mm ²	G_{04} N/mm ²	G_u N/mm ²	v_{max} mm
AE/G/20/3/20	56.093	64.958	136.238	214.870	280.300	284.636	297.155	1.333
AE/G/20/6/20	59.400	86.613	154.532	207.518	263.268	273.367	324.341	1.768
Mittelwert	57.746	75.785	145.385	211.194	271.784	280.002	310.748	1.550
Mittelw. / Beta	1.881	2.469	4.736	6.879	8.853	9.121	10.122	
Tau max. = 100%	18.6 %	24.4 %	46.8 %	68.0 %	87.3 %	90.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	18.4 %	24.1 %	46.3 %	67.3 %	86.6 %	89.2 %	100.0 %	
AE/G/20/1/200	58.719	32.847	105.626	175.900	257.210	0.000	259.788	0.949
Mittelwert	58.719	32.847	105.626	175.900	257.210	0.000	259.788	0.949
Mittelw. / Beta	1.932	1.738	3.475	5.786	8.461	0.000	8.546	
Tau max. = 100%	22.6 %	20.3 %	40.7 %	67.7 %	99.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	18.9 %	17.0 %	34.0 %	56.6 %	82.8 %	0.0 %	89.6 %	
AE/G/20/2/300	41.614	63.532	120.906	216.709	0.000	0.000	241.013	0.506
Mittelwert	41.614	63.532	120.906	216.709	0.000	0.000	241.013	0.506
Mittelw. / Beta	1.420	2.168	4.126	7.396	0.000	0.000	8.226	
Tau max. = 100%	17.3 %	26.4 %	50.2 %	89.9 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	13.4 %	20.4 %	38.9 %	69.7 %	0.0 %	0.0 %	77.6 %	
AE/G/20/5/400	9.753	20.789	48.215	90.503	168.048	176.191	191.694	1.553
Mittelwert	9.753	20.789	48.215	90.503	168.048	176.191	191.694	1.553
Mittelw. / Beta	0.380	0.809	1.876	3.522	6.539	6.856	7.459	
Tau max. = 100%	5.1 %	10.8 %	25.2 %	47.2 %	87.7 %	91.9 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	3.1 %	6.7 %	15.5 %	29.1 %	54.1 %	56.7 %	61.7 %	
AE/G/20/4/500	-0.025	0.517	26.676	67.223	143.568	156.725	192.679	2.014
Mittelwert	-0.025	0.517	26.676	67.223	143.568	156.725	192.679	2.014
Mittelw. / Beta	-0.001	0.027	1.382	3.483	7.439	8.120	9.983	
Tau max. = 100%	-0.0 %	0.3 %	13.8 %	34.9 %	74.5 %	81.3 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	0.2 %	8.6 %	21.6 %	46.2 %	50.4 %	62.0 %	
AE/G/20/7/700	-0.025	0.560	5.619	19.117	45.570	47.700	60.992	2.025
Mittelwert	-0.025	0.560	5.619	19.117	45.570	47.700	60.992	2.025
Mittelw. / Beta	-0.002	0.056	0.562	1.912	4.557	4.770	6.099	
Tau max. = 100%	-0.0 %	0.9 %	9.2 %	31.3 %	74.7 %	78.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	-0.0 %	0.2 %	1.8 %	6.2 %	14.7 %	15.4 %	19.6 %	

***** ASH/G/2 *****

Stahl : IG , R(a) = 8.6
Stabdurchmesser : 16 mm
Hakenwinkel : 180 Grad
Verbundlaenge : 14.50 ds
Betondeckung : 2 ds
Beton : B25
Zuschlagsart : Quarzkies
Lagerungsart : 20 Grd., 65% r.F.
Sieblinie : B16
Koernungsziffer : 3.76
Wasser-Zement-Wert : 0.80
Ausbreitmass : 37.5 cm
Verdichtungsmass : 1.09
Beta-w,28 : 33.0 N/mm**2
Beta-w,VD : 33.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.46 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grad : 1,5
150 Grad :
200 Grad : 2
300 Grad : 7
400 Grad : 6
500 Grad : 4
600 Grad :
700 Grad : 3

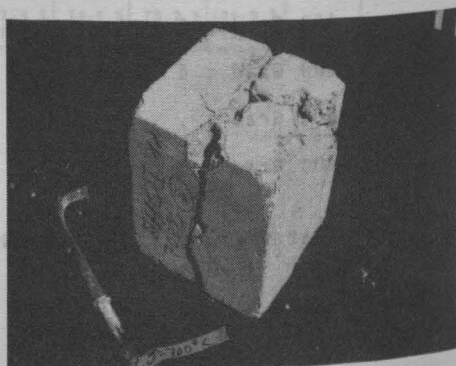
(Datenfile z.B.: ASH/G/2W/7/300)

Bemerkungen:

***** 5/10/12 *****

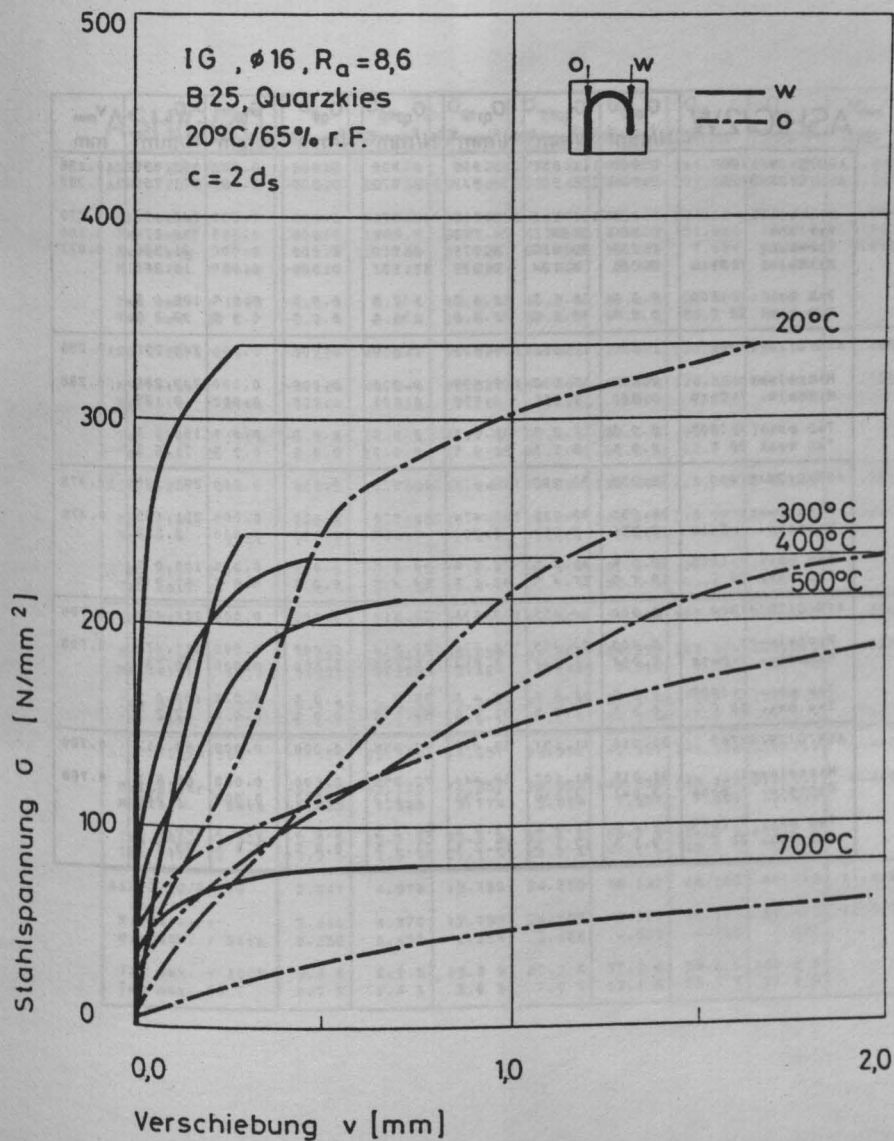
$$3.8 = (3)R, \text{ so } R = 1.27$$

Step 1



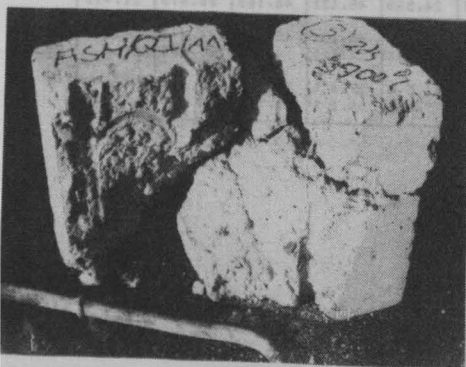
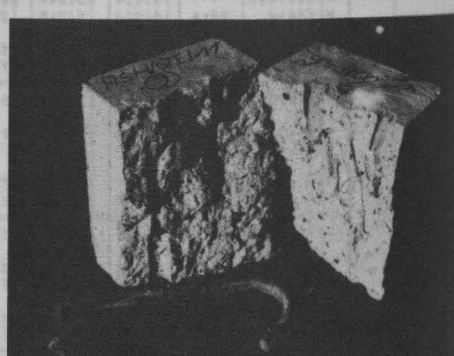
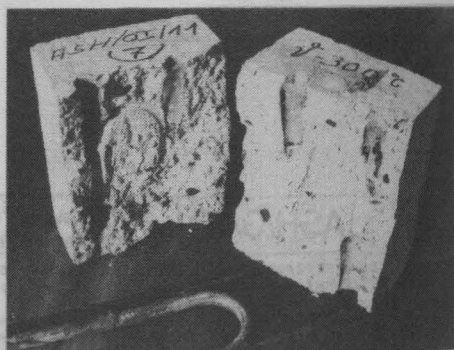
Specimen	Area	Volume	Weight	Specific Gravity	Moisture Content	Compressive Strength	Tensile Strength	Modulus of Elasticity
100-1	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-2	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-3	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-4	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-5	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-6	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-7	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-8	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-9	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-10	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-11	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-12	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-13	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-14	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-15	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-16	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-17	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-18	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-19	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-20	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-21	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-22	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-23	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-24	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-25	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-26	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-27	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-28	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-29	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-30	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-31	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-32	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-33	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-34	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-35	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-36	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-37	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-38	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-39	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-40	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-41	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-42	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-43	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-44	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-45	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-46	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-47	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-48	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-49	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-50	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-51	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-52	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-53	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-54	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-55	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-56	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-57	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-58	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-59	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-60	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-61	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-62	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-63	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-64	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-65	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-66	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-67	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-68	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-69	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-70	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-71	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-72	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-73	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-74	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-75	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-76	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-77	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-78	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-79	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-80	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-81	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-82	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-83	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-84	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-85	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-86	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-87	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-88	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-89	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-90	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-91	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-92	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-93	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-94	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-95	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-96	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-97	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-98	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-99	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0
100-100	100.0	100.0	100.0	2.40	0.5	10.0	1.0	1.0

(13300)



ASH/G/2W	G_0 N/mm ²	G_{001} N/mm ²	G_{01} N/mm ²	G_{02} N/mm ²	G_{03} N/mm ²	G_{10} N/mm ²	G_u N/mm ²	v_{max} mm
ASH/G/2W/1/20	0.000	111.551	228.895	0.000	0.000	0.000	302.599	0.196
ASH/G/2W/5/20	-0.025	255.501	228.344	354.372	0.000	0.000	371.730	0.330
Mittelwert	0.005	184.283	228.668	354.372	0.000	0.000	340.134	0.273
Varianz	0.000	8084.6	24.758	0.000	0.000	0.000	398.275	0.006
Streuung	0.000	89.915	4.378	0.000	0.000	0.000	31.536	0.077
Mittelw. / Beta	0.001	4.134	0.332	11.657	0.000	0.000	10.869	
Tau max. = 100%	0.0 %	29.6 %	56.4 %	107 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	38.2 %	27.5 %	106 %	0.0 %	0.0 %	99.0 %	
ASH/G/2W/7/300	0.000	17.562	106.699	0.000	0.000	0.000	243.236	0.296
Mittelwert	0.000	17.562	106.699	0.000	0.000	0.000	243.236	0.298
Mittelw. / Beta	0.000	0.557	3.559	0.000	0.000	0.000	8.135	
Tau max. = 100%	0.0 %	7.2 %	49.9 %	3.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	5.2 %	21.4 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	71.5 %	
ASH/G/2W/6/400	66.855	33.282	163.474	213.220	0.000	0.000	231.135	0.478
Mittelwert	66.855	33.282	163.474	213.220	0.000	0.000	231.135	0.478
Mittelw. / Beta	2.556	3.560	6.233	8.567	0.000	0.000	8.822	
Tau max. = 100%	29.0 %	40.4 %	70.7 %	34.8 %	3.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	19.7 %	27.4 %	49.1 %	54.4 %	0.0 %	0.0 %	57.9 %	
ASH/G/2W/4/500	0.000	24.455	108.636	180.514	0.000	0.000	211.479	0.709
Mittelwert	0.000	24.455	108.636	180.514	0.000	0.000	211.479	0.709
Mittelw. / Beta	0.000	1.241	5.514	9.163	0.000	0.000	10.735	
Tau max. = 100%	0.0 %	11.6 %	31.4 %	85.4 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	7.2 %	21.9 %	53.1 %	0.0 %	0.0 %	62.2 %	
ASH/G/2W/3/700	31.016	41.107	58.444	72.355	0.000	0.000	80.812	0.760
Mittelwert	31.016	41.107	58.444	72.355	0.000	0.000	80.812	0.760
Mittelw. / Beta	3.041	4.030	3.730	7.143	0.000	0.000	7.323	
Tau max. = 100%	38.4 %	50.3 %	72.3 %	90.2 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	9.1 %	12.1 %	17.2 %	21.4 %	0.0 %	0.0 %	23.8 %	

ASH/G/20	G_0 N/mm ²	G_{q01} N/mm ²	G_{q1} N/mm ²	G_{q3} N/mm ²	G_{q5} N/mm ²	G_{1p} N/mm ²	G_u N/mm ²	v_{max} mm
ASH/G/20/1/20	-0.353	0.176	8.135	77.161	305.371	311.368	312.489	1.049
ASH/G/20/5/20	-0.025	69.735	131.585	206.141	284.960	297.000	391.878	2.285
Mittelwert	-0.378	34.956	69.860	141.651	295.166	304.184	352.183	1.667
Varianz	0.000	1209.6	3809.9	4158.9	104.152	51.610	1575.6	0.382
Streuung	0.000	34.780	61.725	64.490	10.206	7.164	39.695	0.615
Mittelw. / Beta	-0.012	1.117	2.292	4.526	9.430	9.718	11.252	
Tau max. = 100%	-0.1 %	9.9 %	19.8 %	40.2 %	83.8 %	86.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	-0.1 %	9.8 %	19.6 %	39.8 %	83.0 %	85.5 %	99.0 %	
ASH/G/20/2/200	-0.124	40.844	96.520	144.303	214.028	220.829	231.210	1.365
Mittelwert	-0.124	40.844	96.520	144.303	214.028	220.829	231.210	1.365
Mittelw. / Beta	-0.004	1.318	3.114	4.655	6.904	7.124	7.458	
Tau max. = 100%	-0.1 %	17.7 %	41.7 %	62.4 %	92.6 %	95.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	-0.0 %	11.6 %	27.4 %	41.0 %	60.8 %	62.7 %	65.7 %	
ASH/G/20/7/300	0.025	12.769	38.044	79.870	198.905	215.087	243.112	1.281
Mittelwert	0.025	12.769	38.044	79.870	198.905	215.087	243.112	1.281
Mittelw. / Beta	0.001	0.487	1.272	2.671	6.852	7.154	8.151	
Tau max. = 100%	0.0 %	5.3 %	15.6 %	32.3 %	81.8 %	88.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	0.0 %	3.6 %	10.8 %	22.7 %	56.5 %	61.1 %	69.0 %	
ASH/G/20/6/400	0.025	7.916	55.659	84.909	154.999	165.976	229.215	1.988
Mittelwert	0.025	7.916	55.659	84.909	154.999	165.976	229.215	1.988
Mittelw. / Beta	0.001	0.302	2.124	3.241	5.916	6.335	8.749	
Tau max. = 100%	0.0 %	3.5 %	24.3 %	37.0 %	67.6 %	72.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	0.0 %	2.2 %	15.8 %	24.1 %	44.0 %	47.1 %	65.1 %	
ASH/G/20/4/500	-0.050	32.770	74.357	99.952	142.956	149.108	210.111	6.440
Mittelwert	-0.050	32.770	74.357	99.952	142.956	149.108	210.111	6.440
Mittelw. / Beta	-0.003	1.663	3.774	5.074	7.257	7.569	10.666	
Tau max. = 100%	-0.0 %	15.6 %	35.4 %	47.6 %	68.0 %	71.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	-0.0 %	3.3 %	21.1 %	28.4 %	40.6 %	42.5 %	59.7 %	
ASH/G/20/3/700	2.641	4.970	12.795	24.539	46.131	48.163	80.473	11.419
Mittelwert	2.641	4.970	12.795	24.539	46.131	48.163	80.473	11.419
Mittelw. / Beta	0.259	0.487	1.254	2.406	4.526	4.722	7.890	
Tau max. = 100%	3.3 %	6.2 %	15.9 %	30.5 %	57.3 %	59.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	0.7 %	1.4 %	3.6 %	7.0 %	19.1 %	19.7 %	22.9 %	



1. Zentrische Ausziehversuche

K/QI/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

***** K/QI/S1 *****

Stahl : IIIK , $f(R)=0.09$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B25
 Zuschlagsart : QUARZKIES
 Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.90
 Wasser-Zement-Wert : 0.90
 Ausbreitmass : 38.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.10
 Beta-W,28 : 31.7 N/mm**2
 Beta-W,VD : 34.2 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.37 N/mm**2

Ausziehversuche :

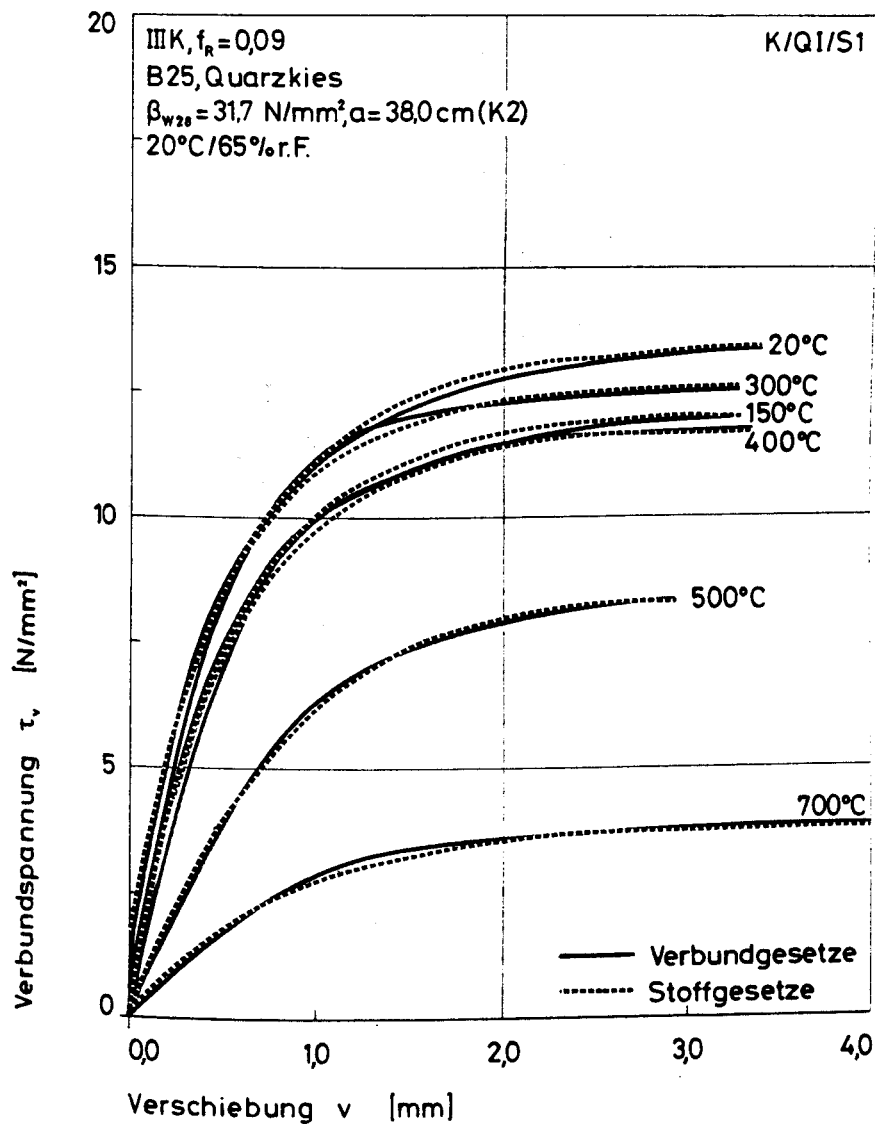
Temperatur	Nummer	Anzahl
20 GRD : 1,4,6,19,20,33,34		7
150 Grd : 7,9		2
200 Grd :		-
300 Grd : 10,11,14		3
400 Grd : 3,8		2
500 Grd : 2,5		2
600 Grd :		-
700 Grd : 32,35		2

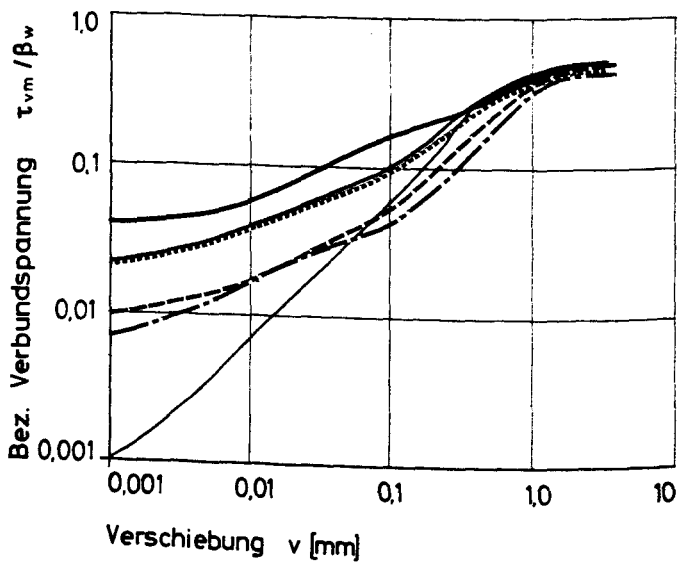
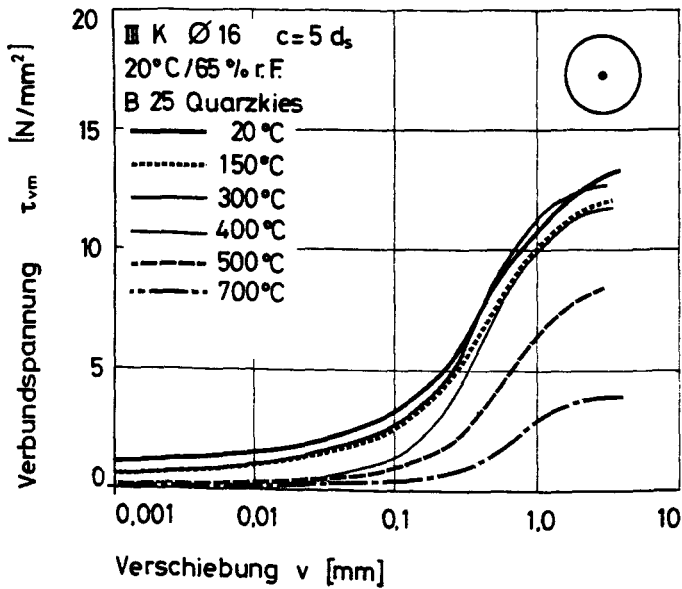
Inst. Kriechversuche :

Belastungsgrad	Anzahl
0.25 P/P(20) :	2
0.35 P/P(20) :	-
0.50 P/P(20) :	3
0.60 P/P(20) :	5
0.70 P/P(20) :	3

(Datenfile z.B.: K/QI/S1/5/400)

Bemerkungen :

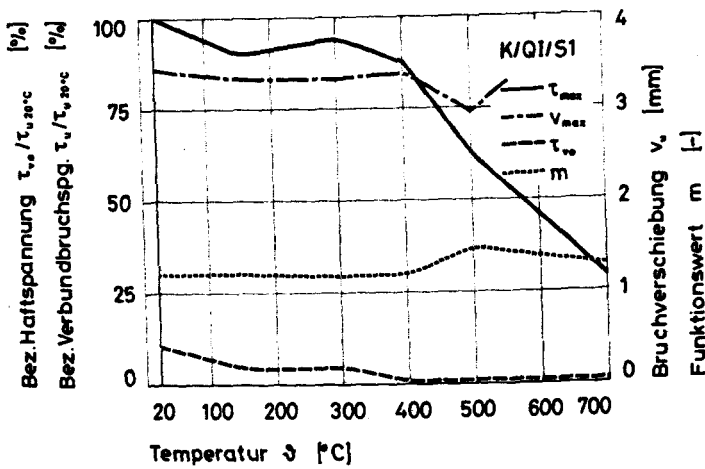




K/QI/S1	τ_0 N/mm ²	τ_{Q01} N/mm ²	τ_{Q1} N/mm ²	τ_{Q3} N/mm ²	τ_{Q5} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
K/QI/S1/1/20	1.368	1.535	3.033	6.092	10.428	10.797	13.675	4.003
K/QI/S1/4/20	0.744	0.790	2.812	5.693	10.240	10.701	13.313	3.849
K/QI/S1/6/20	1.027	1.081	2.684	5.390	9.757	10.116	12.001	2.857
K/QI/S1/19/20	0.884	1.114	3.309	6.570	10.682	10.981	13.625	3.600
K/QI/S1/20/20	1.246	3.071	4.636	6.993	10.589	10.822	12.579	2.937
K/QI/S1/33/20	1.251	1.715	3.252	6.315	10.361	10.965	14.650	4.930
Mittelwert	1.087	1.551	3.288	6.175	10.375	10.730	13.307	3.696
Varianz	0.049	0.555	0.413	0.283	0.096	0.085	0.713	0.488
Streuung	0.221	0.745	0.642	0.532	0.310	0.291	0.844	0.699
Mittelw. / Beta	0.040	0.057	0.121	0.227	0.381	0.394	0.489	
Tau max. = 100%	8.2 %	11.7 %	24.7 %	46.4 %	78.0 %	80.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	8.1 %	11.5 %	24.5 %	45.9 %	77.2 %	79.8 %	99.0 %	
K/QI/S1/7/150	0.196	0.899	2.549	5.450	9.505	9.854	12.095	3.559
K/QI/S1/9/150	0.964	1.107	2.459	5.149	9.940	10.213	11.924	3.105
Mittelwert	0.580	1.009	2.504	5.299	9.722	10.034	12.009	3.332
Varianz	0.147	0.011	0.002	0.023	0.047	0.032	0.007	0.052
Streuung	0.384	0.104	0.045	0.151	0.218	0.180	0.086	0.227
Mittelw. / Beta	0.021	0.037	0.093	0.196	0.360	0.372	0.445	
Tau max. = 100%	4.8 %	8.3 %	20.8 %	44.1 %	81.0 %	83.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	4.4 %	7.5 %	18.8 %	39.8 %	73.1 %	75.4 %	90.2 %	
K/QI/S1/10/300	0.081	0.863	2.415	5.384	10.504	10.919	12.887	4.504
K/QI/S1/11/300	0.299	0.454	1.914	4.601	9.634	10.013	10.684	1.422
K/QI/S1/14/300	1.359	1.756	3.750	7.606	12.387	12.658	14.180	4.008
Mittelwert	0.580	1.024	2.693	5.264	10.842	11.197	12.584	3.311
Varianz	0.312	0.296	0.600	1.620	1.320	1.205	1.205	1.351
Streuung	0.558	0.544	0.775	1.273	1.149	1.098	1.443	1.351
Mittelw. / Beta	0.022	0.040	0.104	0.226	0.419	0.432	0.486	
Tau max. = 100%	4.6 %	8.1 %	21.4 %	46.6 %	86.2 %	89.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	4.4 %	7.7 %	20.2 %	44.1 %	81.5 %	84.1 %	94.6 %	
K/QI/S1/3/400	0.030	0.109	1.045	3.839	8.931	9.360	11.696	3.996
K/QI/S1/8/400	0.019	0.194	1.630	5.245	10.386	10.648	11.765	2.762
Mittelwert	0.025	0.152	1.338	4.542	9.659	10.004	11.730	3.379
Varianz	0.000	0.002	0.086	0.494	0.529	0.415	0.001	0.381
Streuung	0.006	0.043	0.293	0.703	0.728	0.644	0.035	0.617
Mittelw. / Beta	0.001	0.007	0.059	0.199	0.424	0.439	0.514	
Tau max. = 100%	0.2 %	1.3 %	11.4 %	38.7 %	82.3 %	85.3 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.2 %	1.1 %	10.1 %	34.1 %	72.6 %	75.2 %	88.2 %	
K/QI/S1/2/500	0.081	0.089	0.555	1.872	5.655	6.047	8.259	3.118
K/QI/S1/5/500	0.092	0.479	1.269	2.706	6.289	6.690	8.391	2.815
Mittelwert	0.087	0.284	0.912	2.289	5.972	6.338	8.325	2.966
Varianz	0.000	0.038	0.127	0.174	0.100	0.085	0.004	0.023
Streuung	0.006	0.195	0.357	0.417	0.317	0.292	0.066	0.151
Mittelw. / Beta	0.005	0.017	0.053	0.134	0.349	0.371	0.487	
Tau max. = 100%	1.0 %	3.4 %	11.0 %	27.5 %	71.7 %	76.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.7 %	2.1 %	6.9 %	17.2 %	44.9 %	47.6 %	62.6 %	
K/QI/S1/32/700	0.119	0.129	0.276	0.821	2.648	2.849	3.807	4.122
K/QI/S1/35/700	0.008	0.177	0.436	0.963	2.774	2.963	3.929	3.982
Mittelwert	0.064	0.153	0.356	0.892	2.711	2.906	3.868	4.052
Varianz	0.003	0.001	0.006	0.005	0.004	0.003	0.004	0.005
Streuung	0.036	0.024	0.080	0.071	0.063	0.057	0.061	0.070
Mittelw. / Beta	0.007	0.017	0.040	0.100	0.305	0.326	0.435	
Tau max. = 100%	1.6 %	4.0 %	9.2 %	23.1 %	70.1 %	75.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.5 %	1.1 %	2.7 %	6.7 %	20.4 %	21.8 %	29.1 %	

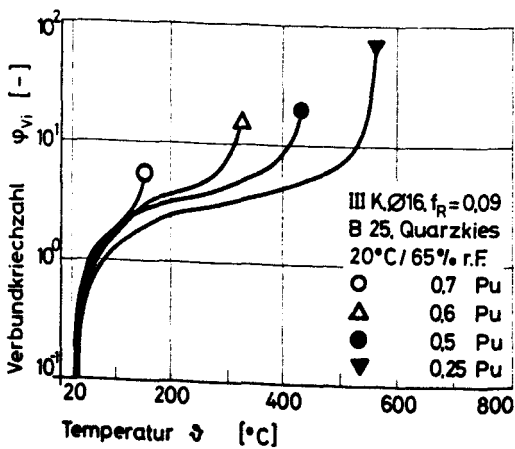
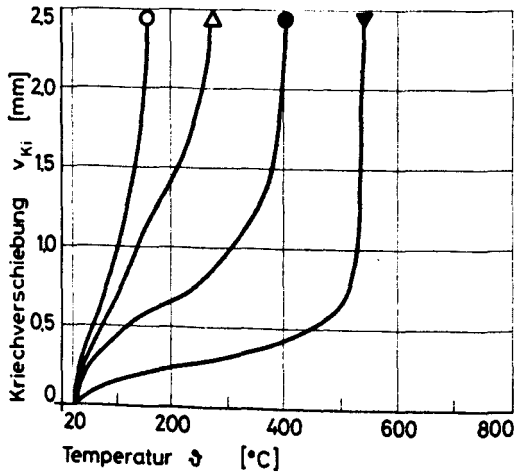
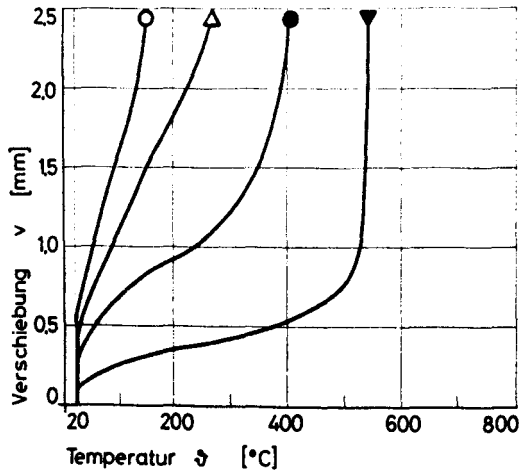
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie K/QI/S1
für die Verbundfunktion:

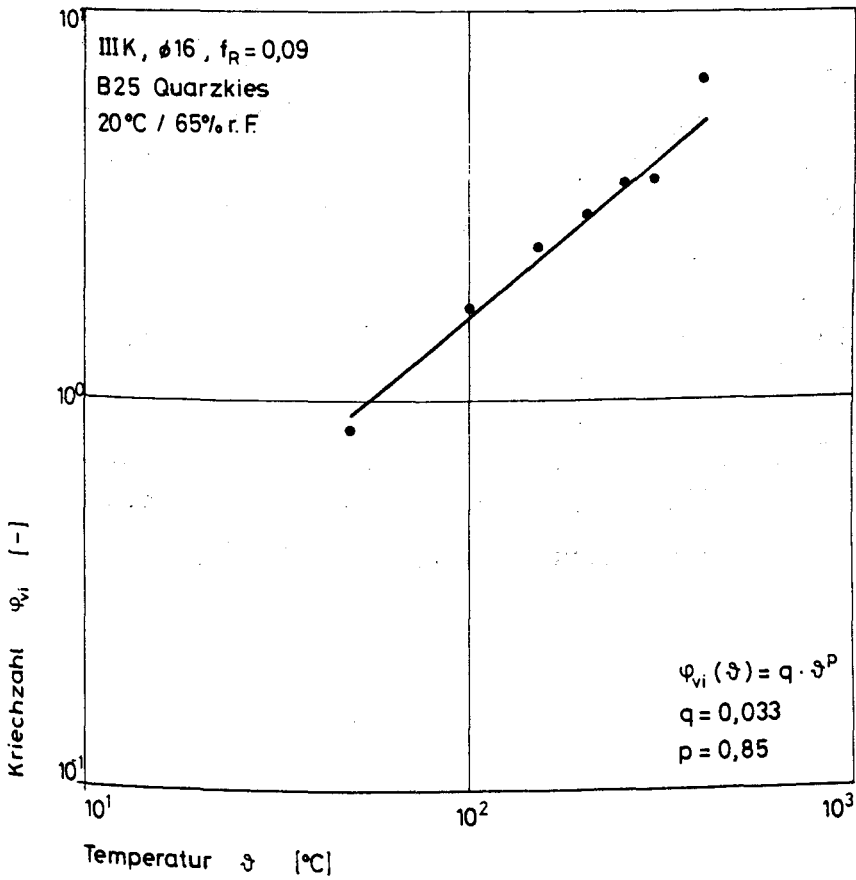
$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}} \right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$

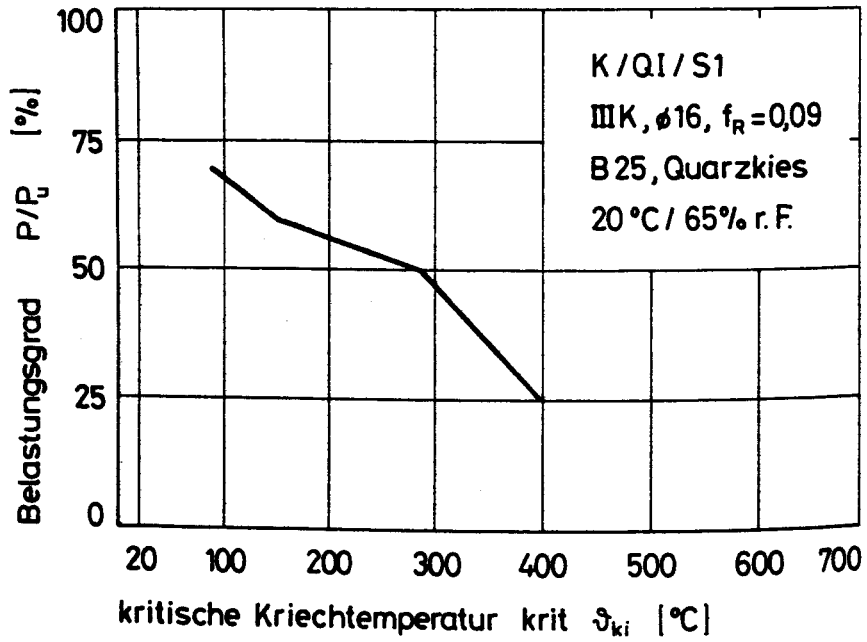


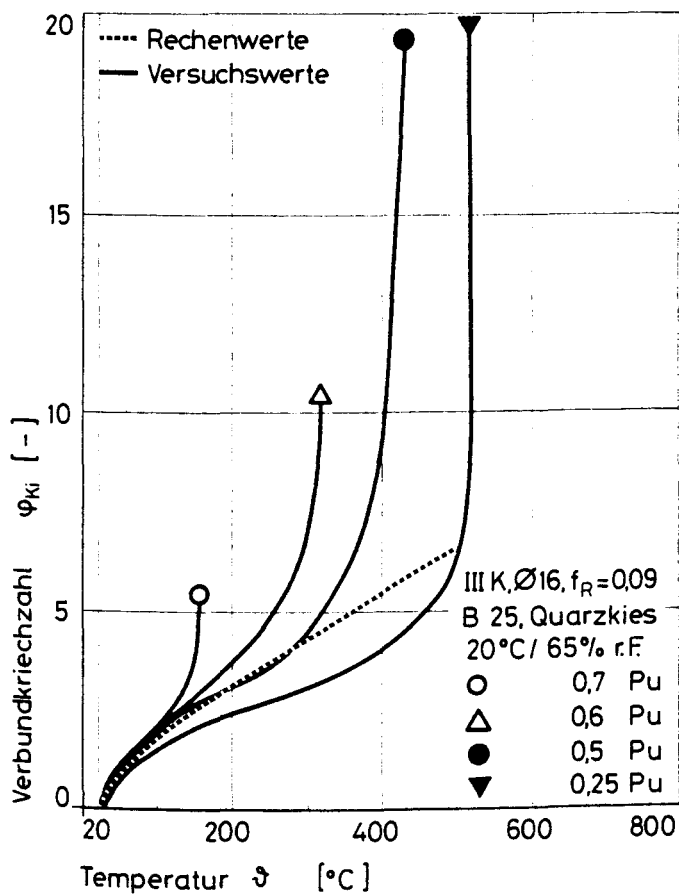
K/QI/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	1,39	17,76	3,44	1,19
150 °C	0,58	12,00	3,33	1,20
200 °C	-	-	-	-
300 °C	0,58	12,58	3,31	1,16
400 °C	0,03	11,73	3,38	1,20
500 °C	0,09	8,32	2,97	1,47
600 °C	-	-	-	-
700 °C	0,06	3,87	4,05	1,28

2. Instationäre Kriechversuche









K/QI/S2

1. Zentrische Ausziehversuche

***** K/QI/S2 *****

Stahl : IIIK , $f(R)=0.09$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B25
 Zuschlagsart : KALKSTEIN
 Lagerungsart : 20 Grd, 100%r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.87
 Wasser-Zement-Wert : 0.90
 Ausbreitmass : 39.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.08
 Beta-W,28 : 31.4 N/mm**2
 Beta-W,VD : 32.2 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.10 N/mm**2

Ausziehversuche :

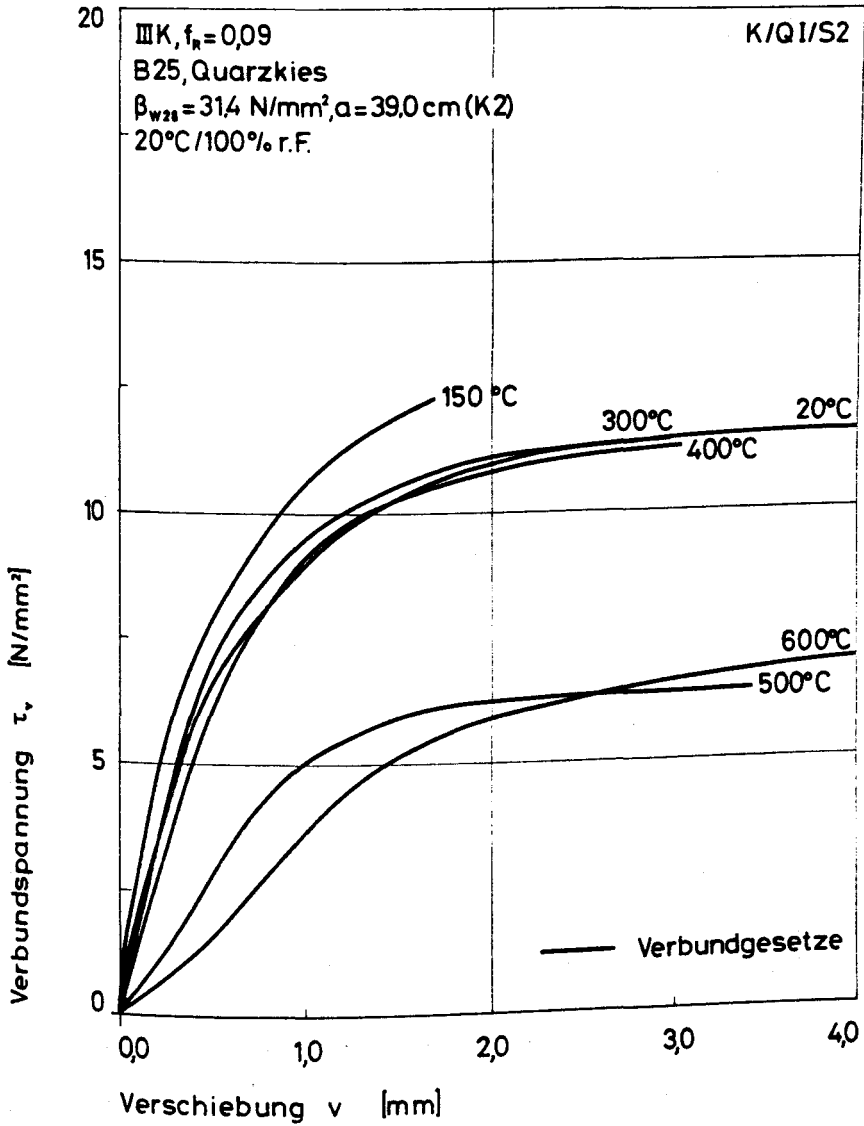
Temperatur	Nummer	Anzahl
20 GRD :	2,9,11,24,25,33,38	7
150 Grd :	8,10,13,35	4
200 Grd :		-
300 Grd :	3,12,15,28,30,34	6
400 Grd :	5,18,32	3
500 Grd :	4,16,36	3
600 Grd :	27,29,39	3
700 Grd :		-

Inst. Kriechversuche :

Belastungsgrad	Anzahl
0.25 P/P(20) :	2
0.35 P/P(20) :	-
0.50 P/P(20) :	4
0.60 P/P(20) :	5
0.70 P/P(20) :	3

(Datenfile z.B.: K/QI/S2/32/400)

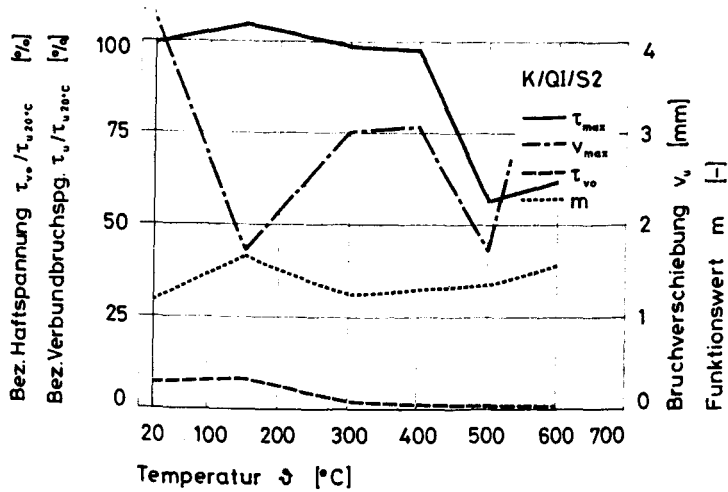
Bemerkungen :



K/QI/S2	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{05} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	V_{max} mm
K/QI/S2/20/2	1.484	0.755	2.323	4.770	8.480	8.841	11.063	5.029
K/QI/S2/20/9	2.463	2.463	4.058	6.419	8.827	9.036	10.782	4.682
K/QI/S2/20/11	0.990	1.004	2.194	4.239	7.790	8.175	10.441	3.609
K/QI/S2/20/24	0.296	1.844	3.573	6.874	11.307	11.731	14.405	2.779
K/QI/S2/20/25	0.029	0.980	1.797	3.925	7.685	8.090	10.514	2.914
K/QI/S2/20/33	0.054	0.467	1.170	3.463	6.918	7.226	9.969	4.216
K/QI/S2/20/38	0.033	0.676	2.084	4.863	9.386	9.874	13.529	4.406
Mittelwert	0.764	1.170	2.448	4.936	8.628	8.996	11.529	3.948
Varianz	0.751	0.443	0.880	1.381	1.761	1.844	2.528	0.649
Streuung	0.866	0.666	0.938	1.175	1.327	1.358	1.590	0.805
Mittelw. / Beta	0.027	0.041	0.087	0.175	0.306	0.319	0.409	
Tau max. = 100%	6.6 %	10.1 %	21.2 %	42.8 %	74.8 %	78.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	6.6 %	10.0 %	21.0 %	42.4 %	74.1 %	77.3 %	99.0 %	
K/QI/S2/150/8	0.058	0.270	1.805	4.884	9.822	10.333	11.850	1.667
K/QI/S2/150/10	1.689	1.762	3.797	6.949	10.751	11.082	11.524	1.166
K/QI/S2/150/13	0.899	1.214	3.171	6.185	10.426	10.931	12.800	1.799
K/QI/S2/150/35	1.244	2.041	3.696	6.216	9.489	9.830	11.917	2.196
Mittelwert	0.973	1.322	3.117	6.058	10.122	10.544	12.023	1.707
Varianz	0.357	0.457	0.630	0.553	0.245	0.248	0.229	0.135
Streuung	0.598	0.676	0.794	0.744	0.495	0.498	0.473	0.368
Mittelw. / Beta	0.038	0.052	0.123	0.239	0.399	0.415	0.473	
Tau max. = 100%	8.1 %	11.0 %	25.9 %	50.4 %	84.2 %	87.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	8.4 %	11.5 %	27.0 %	52.5 %	87.8 %	91.5 %	104 %	
K/QI/S2/300/3	0.390	0.703	2.539	6.341	10.493	10.864	12.308	2.048
K/QI/S2/300/12	0.172	0.420	1.681	5.161	10.040	10.332	11.450	3.740
K/QI/S2/300/15	0.570	0.776	2.368	4.831	8.939	9.244	11.104	3.325
K/QI/S2/300/28	0.032	0.345	2.231	5.449	9.453	9.836	12.256	2.268
K/QI/S2/300/30	0.077	0.408	1.848	4.593	9.860	10.294	12.906	2.427
K/QI/S2/300/34	0.048	0.162	0.765	2.633	6.132	6.435	8.242	3.374
Mittelwert	0.215	0.469	1.905	4.835	9.153	9.501	11.378	2.954
Varianz	0.040	0.044	0.346	1.276	2.057	2.126	2.314	0.561
Streuung	0.200	0.210	0.588	1.130	1.434	1.458	1.521	0.749
Mittelw. / Beta	0.009	0.019	0.077	0.195	0.369	0.383	0.459	
Tau max. = 100%	1.9 %	4.1 %	16.7 %	42.5 %	80.4 %	83.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	1.9 %	4.1 %	16.5 %	41.9 %	79.4 %	82.4 %	98.7 %	
K/QI/S2/400/5	0.241	0.579	1.689	4.683	9.187	9.703	11.490	3.212
K/QI/S2/400/18	0.056	0.172	0.911	3.322	7.984	8.345	10.244	2.915
K/QI/S2/400/32	0.015	0.084	0.884	3.361	8.980	9.457	11.918	2.945
Mittelwert	0.104	0.278	1.161	3.789	8.717	9.168	11.217	3.024
Varianz	0.010	0.046	0.139	0.400	0.276	0.349	0.504	0.018
Streuung	0.098	0.216	0.373	0.633	0.525	0.591	0.710	0.133
Mittelw. / Beta	0.004	0.012	0.050	0.162	0.373	0.392	0.479	
Tau max. = 100%	0.9 %	2.5 %	10.4 %	33.8 %	77.7 %	81.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	0.9 %	2.4 %	10.1 %	32.9 %	75.6 %	79.5 %	97.3 %	
K/QI/S2/500/4	0.063	0.331	0.715	2.111	6.115	6.389	7.263	1.966
K/QI/S2/500/16	0.007	0.043	0.236	1.166	4.206	4.242	5.972	4.486
K/QI/S2/500/36	0.094	0.137	0.331	1.075	4.172	4.538	6.265	3.934
Mittelwert	0.055	0.170	0.427	1.451	4.831	5.056	6.500	3.462
Varianz	0.001	0.014	0.043	0.219	0.825	0.903	0.305	1.170
Streuung	0.036	0.120	0.207	0.468	0.908	0.950	0.553	1.082
Mittelw. / Beta	0.002	0.008	0.019	0.066	0.219	0.229	0.294	
Tau max. = 100%	0.8 %	2.6 %	6.6 %	22.3 %	74.3 %	77.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	0.5 %	1.5 %	3.7 %	12.6 %	41.9 %	43.9 %	56.4 %	
K/QI/S2/600/27	0.046	0.134	0.276	0.839	3.792	4.305	9.005	4.739
K/QI/S2/600/29	0.018	0.080	0.178	0.457	1.694	1.943	3.826	4.792
K/QI/S2/600/39	0.050	0.120	0.371	1.076	4.256	4.797	8.411	4.574
Mittelwert	0.038	0.111	0.275	0.791	3.247	3.682	7.081	4.722
Varianz	0.000	0.001	0.006	0.065	1.242	1.552	5.355	0.011
Streuung	0.014	0.023	0.079	0.255	1.115	1.246	2.314	0.104
Mittelw. / Beta	0.002	0.005	0.013	0.036	0.150	0.170	0.326	
Tau max. = 100%	0.5 %	1.6 %	3.9 %	11.2 %	45.9 %	52.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 °C	0.3 %	1.0 %	2.4 %	6.9 %	28.2 %	31.9 %	61.4 %	

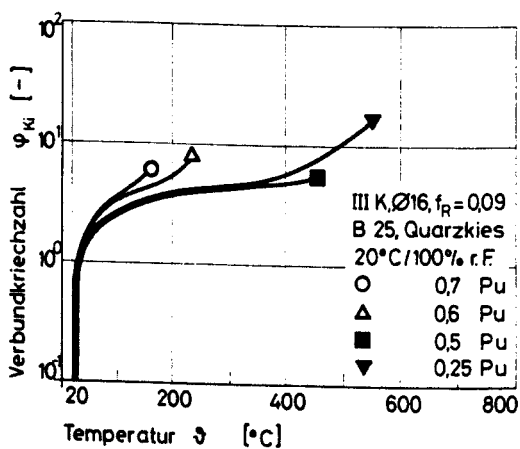
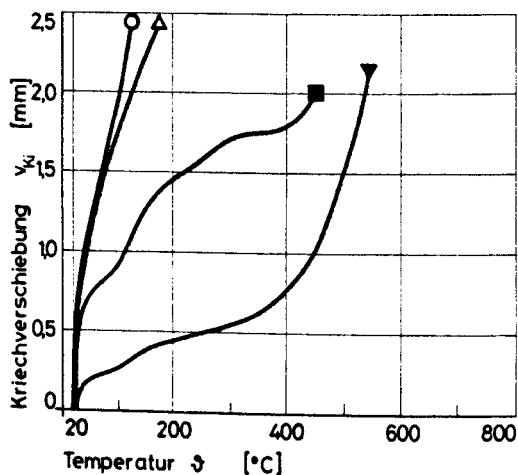
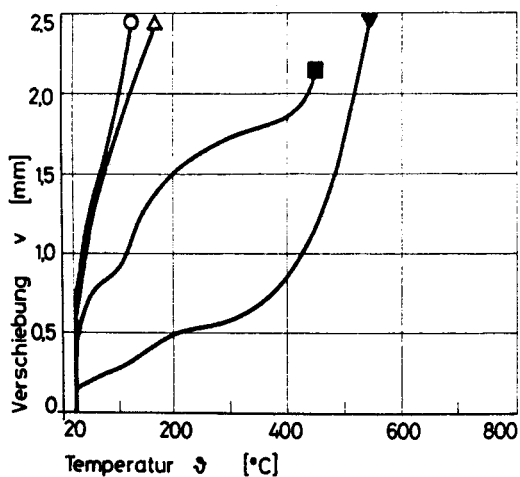
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie K/QI/S2
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}} \right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



K/QI/S2	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	0,76	11,52	4,23	1,18
150 °C	0,97	12,02	1,71	1,65
200 °C	-	-	-	-
300 °C	0,22	11,38	3,00	1,24
400 °C	0,10	11,22	3,05	1,31
500 °C	0,06	6,50	3,46	1,34
600 °C	0,04	7,08	4,72	1,54
700 °C	-	-	-	-

2. Instationäre Kriechversuche



K/QII/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

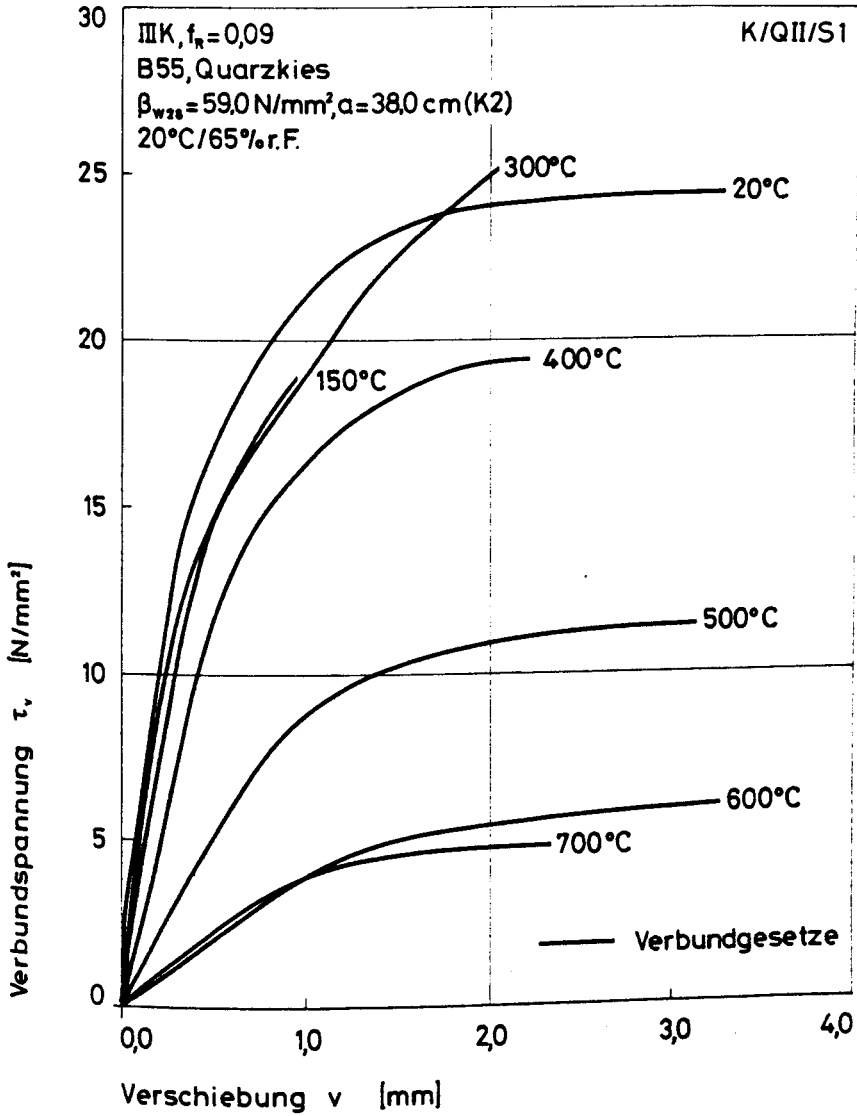
***** K/QII/S1 *****

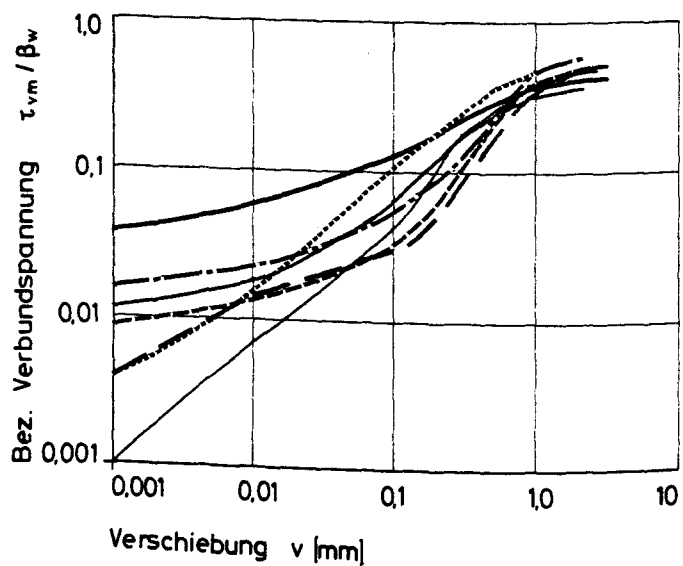
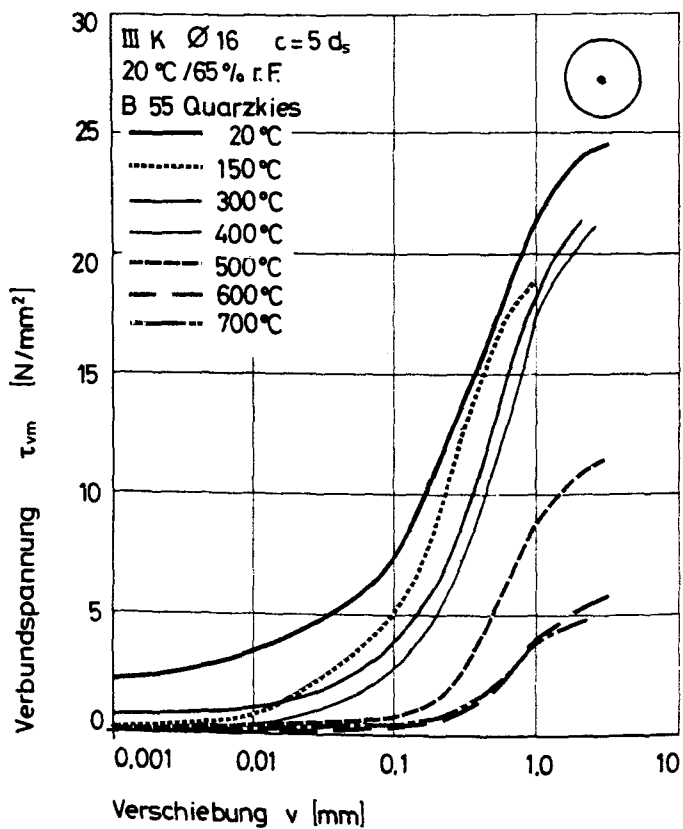
Stahl : IIIK , $f(R)=0.09$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B55
 Zuschlagsart : QUARZKIES
 Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.85
 Wasser-Zement-Wert : 0.50
 Ausbreitmass : 38.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.08
 Beta-W,28 : 59.0 N/mm**2
 Beta-W,VD : 61.8 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 4.21 N/mm**2

Ausziehversuche :			Inst. Kriechversuche :	
Temperatur	Nummer	Anzahl	Belastungsgrad	Anzahl
20 GRD :	7,11,14,25,32	5	0.25 P/P(20) :	2
150 Grd :	9,12,38	3	0.35 P/P(20) :	-
200 Grd :		-	0.50 P/P(20) :	3
300 Grd :	4,6,13,28,30,34	6	0.60 P/P(20) :	6
400 Grd :	15,16,23,24	4	0.70 P/P(20) :	3
500 Grd :	18,20,21,40	4		
600 Grd :	10,27,31	3		
700 Grd :	29,37	2		

(Datenfile z.B.: K/QII/S1/15/400)

Bemerkungen :



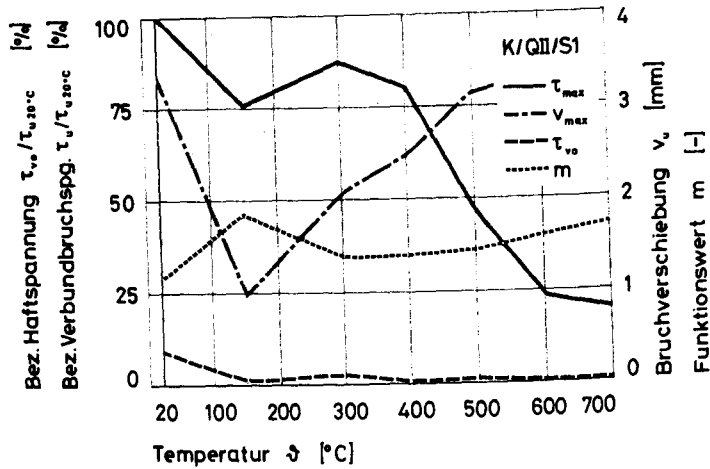


K/QII/S1

	T_0 N/mm ²	T_{001} N/mm ²	T_{01} N/mm ²	T_{03} N/mm ²	T_{09} N/mm ²	T_{10} N/mm ²	T_u N/mm ²	v_{max} mm
K/QII/S1/7/20	2.479	2.912	6.599	14.151	20.292	20.943	23.529	1.760
K/QII/S1/11/20	1.165	4.108	7.518	13.929	20.099	20.785	24.505	4.137
K/QII/S1/14/20	3.332	3.937	8.078	14.163	21.445	22.065	25.130	4.798
K/QII/S1/25/20	0.063	1.797	7.106	12.892	20.288	21.057	24.160	2.433
K/QII/S1/32/20	3.930	4.418	8.006	13.859	21.133	21.766	24.784	3.395
Mittelwert	2.194	3.434	7.462	13.679	20.651	21.323	24.422	3.305
Varianz	1.938	0.926	0.310	0.246	0.286	0.250	0.301	1.215
Streuung	1.414	0.962	0.557	0.496	0.534	0.500	0.549	1.102
Mittelw. / Beta	0.037	0.059	0.127	0.233	0.352	0.363	0.416	
Tau max. = 100%	9.0 %	14.1 %	30.6 %	56.0 %	84.6 %	87.3 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	8.9 %	13.9 %	30.3 %	55.5 %	83.7 %	86.4 %	99.0 %	
K/QII/S1/9/150	0.025	0.767	3.485	10.032	18.510	0.000	18.608	1.006
K/QII/S1/12/150	0.527	1.295	4.404	10.876	18.250	18.780	18.848	1.113
K/QII/S1/38/150	0.023	0.213	7.762	14.012	0.000	0.000	18.273	0.748
Mittelwert	0.192	0.758	5.217	11.640	18.380	18.780	18.577	0.956
Varianz	0.056	0.195	3.379	2.992	0.017	0.000	0.056	0.023
Streuung	0.237	0.442	1.838	1.712	0.130	0.000	0.236	0.153
Mittelw. / Beta	0.004	0.016	0.111	0.248	0.391	0.400	0.395	
Tau max. = 100%	1.0 %	4.1 %	28.1 %	62.7 %	98.9 %	101 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.8 %	3.1 %	21.4 %	47.7 %	75.3 %	76.9 %	76.1 %	
K/QII/S1/4/300	0.249	0.825	2.956	8.693	15.690	16.605	19.107	1.584
K/QII/S1/6/300	0.707	1.140	3.956	10.361	17.090	17.863	20.857	1.604
K/QII/S1/13/300	0.536	1.117	4.264	10.797	17.826	18.604	21.530	2.017
K/QII/S1/28/300	0.000	0.105	1.237	8.439	17.315	18.087	21.798	2.363
K/QII/S1/30/300	0.847	1.578	5.261	11.538	19.391	0.000	20.639	0.928
K/QII/S1/34/300	1.225	1.829	5.385	12.091	18.585	18.953	24.138	3.869
Mittelwert	0.713	1.099	3.843	10.320	17.640	18.022	21.345	2.061
Varianz	0.105	0.305	2.026	1.839	1.333	0.649	2.298	0.847
Streuung	0.325	0.552	1.423	1.356	1.155	0.805	1.516	0.920
Mittelw. / Beta	0.012	0.019	0.066	0.179	0.305	0.312	0.369	
Tau max. = 100%	3.3 %	5.1 %	18.0 %	48.3 %	82.6 %	84.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.9 %	4.5 %	15.7 %	42.3 %	72.2 %	73.8 %	87.4 %	
K/QII/S1/15/400	0.028	0.220	1.136	4.655	13.958	14.557	17.708	4.058
K/QII/S1/16/400	0.033	0.361	1.630	7.260	16.448	16.344	20.045	2.611
K/QII/S1/23/400	0.063	0.213	2.002	8.408	15.081	15.566	24.268	1.805
K/QII/S1/24/400	0.024	0.428	2.425	8.699	17.437	18.575	22.100	2.423
Mittelwert	0.037	0.312	1.811	7.256	15.731	16.423	21.030	2.724
Varianz	0.000	0.009	0.221	2.544	1.748	2.244	5.909	0.682
Streuung	0.015	0.094	0.470	1.595	1.322	1.498	2.431	0.826
Mittelw. / Beta	0.001	0.007	0.043	0.173	0.375	0.392	0.502	
Tau max. = 100%	0.2 %	1.5 %	8.6 %	34.5 %	74.8 %	78.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.2 %	1.3 %	7.4 %	29.7 %	64.4 %	67.2 %	86.1 %	
K/QII/S1/18/500	0.006	0.145	0.441	1.478	7.128	7.728	10.041	2.351
K/QII/S1/20/500	0.245	0.429	0.801	2.366	8.925	9.588	12.908	3.014
K/QII/S1/21/500	0.245	0.250	0.793	3.621	10.846	11.355	14.278	2.720
K/QII/S1/40/500	0.290	0.354	0.775	2.292	6.486	6.762	8.975	4.516
Mittelwert	0.197	0.295	0.703	2.439	8.346	8.858	11.400	3.150
Varianz	0.012	0.011	0.023	0.587	2.882	3.110	5.389	0.677
Streuung	0.112	0.107	0.151	0.766	1.698	1.763	2.321	0.823
Mittelw. / Beta	0.009	0.013	0.032	0.109	0.374	0.397	0.511	
Tau max. = 100%	1.7 %	2.6 %	6.2 %	21.4 %	73.2 %	77.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.8 %	1.2 %	2.9 %	10.0 %	34.2 %	36.3 %	46.7 %	
K/QII/S1/10/600	0.050	0.172	0.313	0.787	2.983	3.314	4.300	2.116
K/QII/S1/27/600	0.047	0.188	0.412	1.018	3.939	4.402	6.239	3.193
K/QII/S1/31/600	0.016	0.112	0.254	0.880	3.815	4.237	6.827	4.581
Mittelwert	0.037	0.157	0.326	0.895	3.579	3.984	5.789	3.297
Varianz	0.000	0.001	0.004	0.009	0.180	0.229	1.166	1.018
Streuung	0.015	0.033	0.065	0.095	0.424	0.479	1.080	1.009
Mittelw. / Beta	0.004	0.015	0.031	0.084	0.338	0.376	0.546	
Tau max. = 100%	0.6 %	2.7 %	5.6 %	15.5 %	61.8 %	68.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.2 %	0.6 %	1.3 %	3.7 %	14.7 %	16.3 %	29.7 %	
K/QII/S1/29/700	0.066	0.126	0.266	0.837	2.848	3.121	4.153	2.137
K/QII/S1/37/700	0.205	0.255	0.583	1.421	4.599	4.817	5.439	2.553
Mittelwert	0.135	0.190	0.424	1.129	3.723	3.969	4.796	2.345
Varianz	0.005	0.004	0.025	0.085	0.767	0.719	0.413	0.043
Streuung	0.070	0.065	0.159	0.282	0.876	0.848	0.643	0.208
Mittelw. / Beta	0.016	0.023	0.052	0.138	0.454	0.484	0.585	
Tau max. = 100%	2.8 %	4.0 %	8.8 %	29.5 %	77.6 %	82.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.6 %	0.8 %	1.7 %	4.6 %	15.2 %	16.3 %	19.6 %	

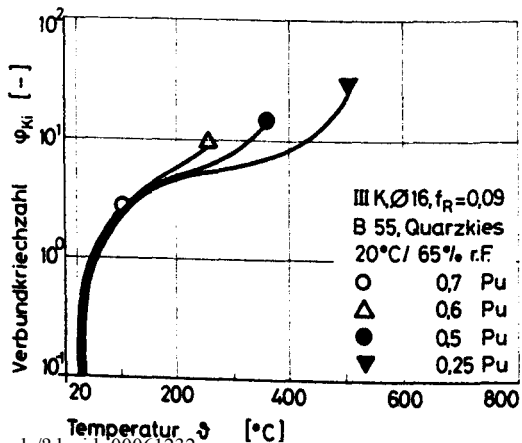
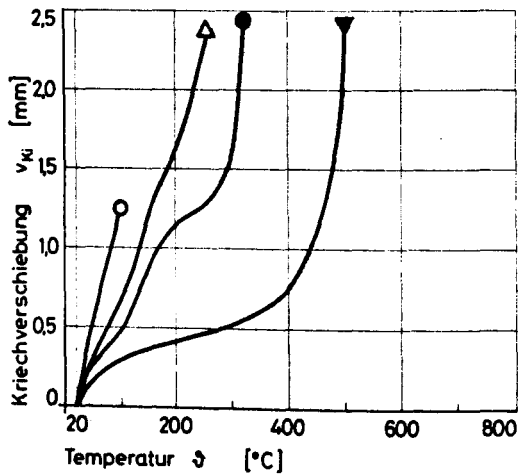
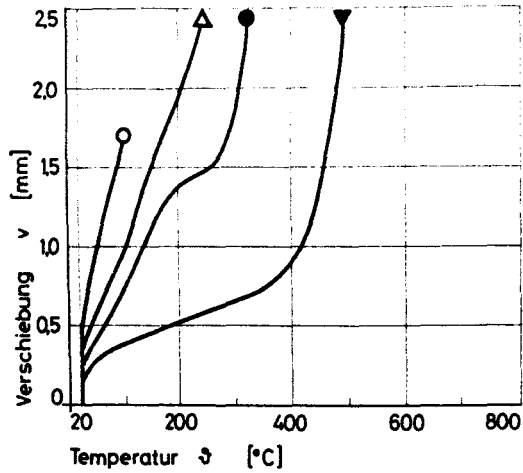
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie K/QII/S1
für die Verbundfunktion:

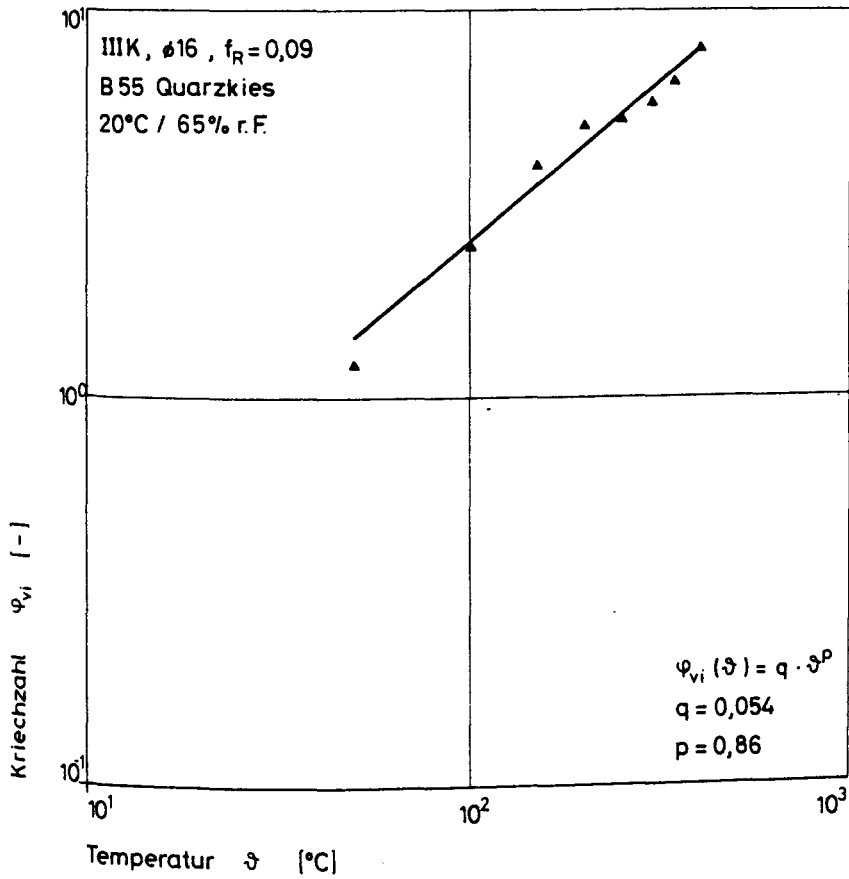
$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$

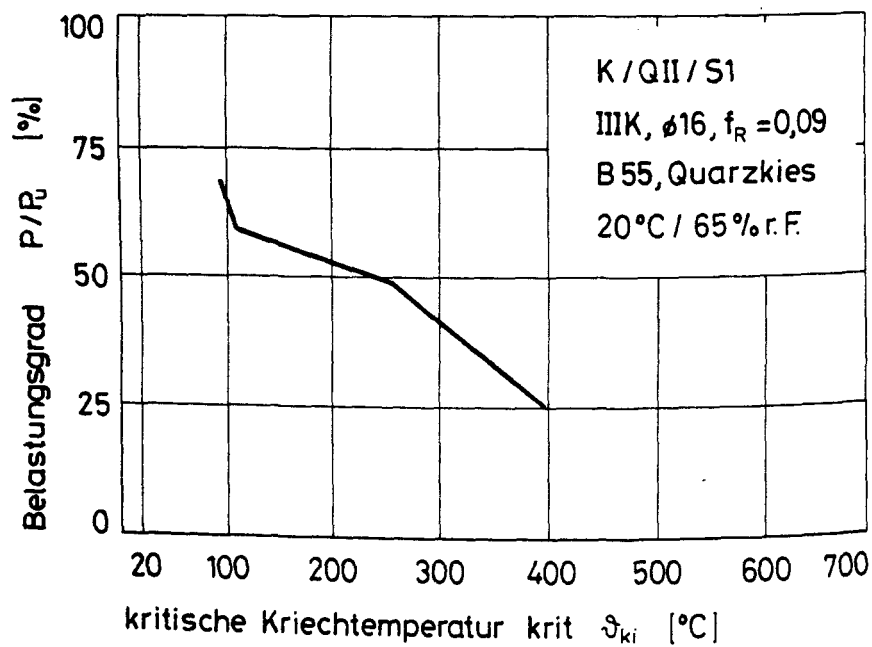


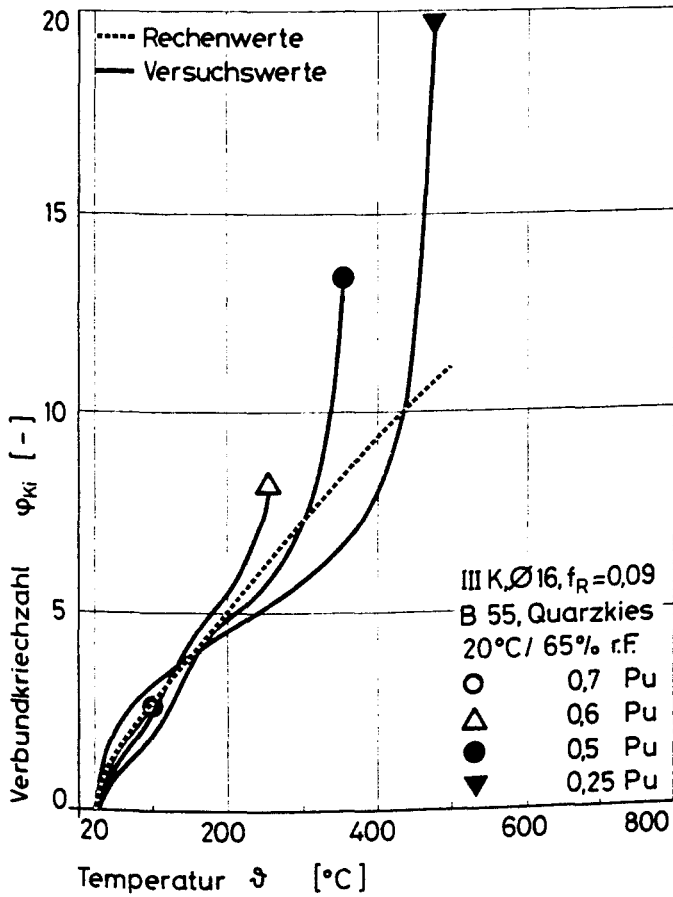
K/QII/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	2,19	24,42	3,32	1,14
150 °C	0,20	18,58	0,96	1,86
200 °C	-	-	-	-
300 °C	0,59	21,35	2,06	1,36
400 °C	0,04	19,59	2,47	1,38
500 °C	0,20	11,40	3,15	1,43
600 °C	0,04	5,79	3,30	1,60
700 °C	0,14	4,80	2,35	1,70

2. Instationäre Kriechversuche









K/Q II/S2

1. Zentrische Ausziehversuche

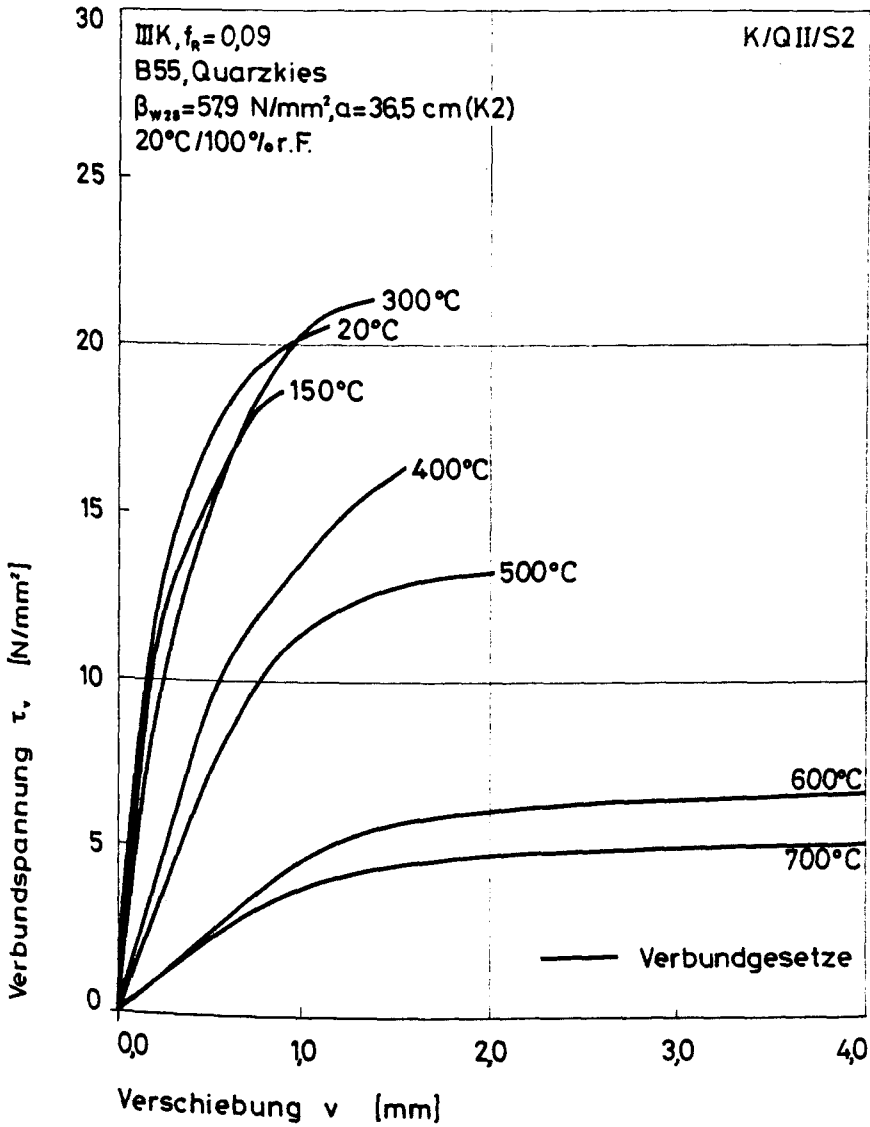
***** K/QII/S2 *****

Stahl : IIIK , $f(R)=0.09$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B55
 Zuschlagsart : QUARZKIES
 Lagerungsart : 20 Grd, 100%r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.85
 Wasser-Zement-Wert : 0.50
 Ausbreitmass : 36.5 cm
 Verdichtungsmass : 1.10
 Beta-W,28 : 57.9 N/mm**2
 Beta-W,VD : 62.7 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 4.50 N/mm**2

Ausziehversuche :			Inst. Kriechversuche :	
Temperatur	Nummer	Anzahl	Belastungsgrad	Anzahl
20 Grd :	7,11,15,28,29,37	6	0.25 P/P(20) :	2
150 Grd :	3,20,21,40	4	0.35 P/P(20) :	-
200 Grd :		-	0.50 P/P(20) :	3
300 Grd :	5,18,32,35,38	5	0.60 P/P(20) :	6
400 Grd :	2,13,24	3	0.70 P/P(20) :	3
500 Grd :	6,8,31	3		
600 Grd :	4,26	2		
700 Grd :	25	1		

(Datenfile z.B.: K/QII/S2/38/300)

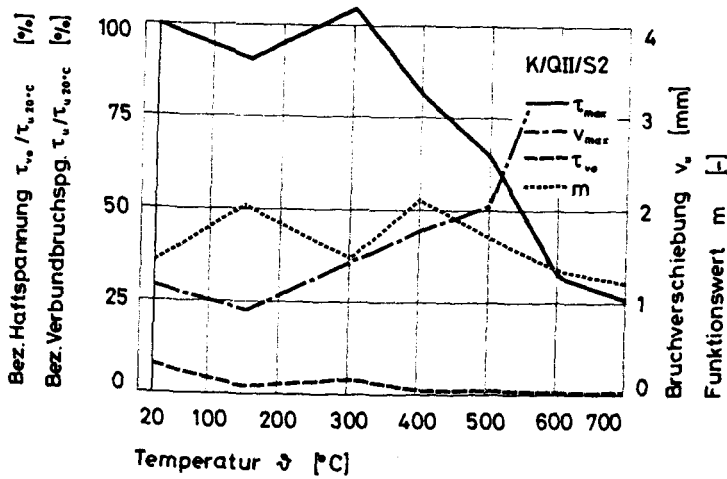
Bemerkungen :



K/QII/S2	τ_0 N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{02} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{04} N/mm ²	τ_{05} N/mm ²	τ_{06} N/mm ²	τ_{07} N/mm ²	v_{max} mm
K/QII/S2/7/20	2.324	3.855	9.819	15.772	21.069	21.419	21.902	1.278	
K/QII/S2/11/20	1.674	2.432	6.669	14.324	20.733	21.188	21.460	1.180	
K/QII/S2/15/20	1.479	3.465	9.243	15.807	0.000	0.000	21.912	0.875	
K/QII/S2/28/20	0.003	0.053	3.554	12.034	19.079	19.539	19.966	1.327	
K/QII/S2/29/20	0.019	2.475	6.839	13.141	18.336	0.000	18.368	0.966	
K/QII/S2/37/20	0.002	2.043	6.895	12.876	18.571	18.935	19.332	1.291	
Mittelwert	0.917	2.387	7.169	13.992	19.558	20.270	20.490	1.153	
Varianz	0.891	1.482	4.138	1.272	1.120	1.846	0.030	0.030	
Streuung	0.944	1.217	2.034	1.436	1.128	1.058	1.359	0.172	
Mittelw. / Beta	0.015	0.038	0.114	0.222	0.310	0.322	0.325		
Tau max. = 100%	4.5 %	11.7 %	35.0 %	68.3 %	95.4 %	98.9 %	100.0 %		
Tau max. 20 C	4.4 %	11.5 %	34.6 %	67.6 %	94.5 %	97.9 %	99.0 %		
K/QII/S2/3/150	0.066	0.641	3.701	10.623	0.000	0.000	18.157	0.917	
K/QII/S2/20/150	0.752	2.026	7.094	13.469	0.000	0.000	20.986	1.002	
K/QII/S2/21/150	0.796	1.623	5.878	11.994	0.000	0.000	18.678	0.874	
K/QII/S2/40/150	0.000	0.055	2.610	9.272	0.000	0.000	16.576	0.857	
Mittelwert	0.404	1.086	4.821	11.399	0.000	0.000	18.599	0.912	
Varianz	0.097	0.608	3.107	2.438	0.000	0.000	2.498	0.003	
Streuung	0.312	0.780	1.763	1.561	0.000	0.000	1.580	0.056	
Mittelw. / Beta	0.008	0.022	0.096	0.225	0.000	0.000	0.369		
Tau max. = 100%	2.2 %	5.8 %	25.9 %	61.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %		
Tau max. 20 C	2.0 %	5.3 %	23.5 %	55.3 %	0.0 %	0.0 %	90.8 %		
K/QII/S2/5/300	1.176	2.016	6.411	12.385	20.166	20.826	21.097	1.177	
K/QII/S2/18/300	1.185	2.092	8.053	14.162	20.215	20.955	22.572	1.450	
K/QII/S2/32/300	0.988	1.728	5.999	12.834	19.902	20.440	21.081	1.263	
K/QII/S2/35/300	-0.001	1.136	5.303	12.126	17.803	18.503	21.100	1.974	
K/QII/S2/38/300	0.001	0.033	4.470	13.012	20.224	20.996	21.542	1.201	
Mittelwert	0.837	1.401	6.047	12.904	19.662	20.344	21.478	1.413	
Varianz	0.239	0.581	1.440	0.495	0.878	0.886	0.329	0.088	
Streuung	0.489	0.762	1.200	0.703	0.937	0.941	0.574	0.296	
Mittelw. / Beta	0.014	0.023	0.100	0.214	0.327	0.338	0.357		
Tau max. = 100%	3.9 %	6.5 %	28.2 %	60.1 %	91.5 %	94.7 %	100.0 %		
Tau max. 20 C	4.1 %	6.8 %	29.5 %	63.0 %	96.0 %	99.3 %	100.0 %		
K/QII/S2/2/400	0.000	0.063	1.285	6.669	12.833	13.559	16.355	2.008	
K/QII/S2/13/400	0.001	0.496	2.339	7.141	13.611	14.421	17.105	1.558	
K/QII/S2/24/400	0.000	0.010	0.290	2.830	12.109	12.668	16.011	1.728	
Mittelwert	0.001	0.190	1.305	5.547	12.851	13.549	16.690	1.765	
Varianz	0.000	0.047	0.700	3.727	0.376	0.512	0.234	0.034	
Streuung	0.000	0.218	0.837	1.931	0.613	0.716	0.484	0.186	
Mittelw. / Beta	0.000	0.004	0.030	0.126	0.293	0.309	0.380		
Tau max. = 100%	0.0 %	1.1 %	7.8 %	33.2 %	77.0 %	81.2 %	100.0 %		
Tau max. 20 C	0.0 %	0.9 %	6.4 %	27.1 %	62.7 %	66.1 %	81.5 %		
K/QII/S2/6/500	0.313	0.749	1.811	6.091	12.382	12.790	14.271	1.861	
K/QII/S2/8/500	0.269	0.322	0.702	2.735	9.468	10.029	12.188	2.311	
K/QII/S2/31/500	0.015	0.076	1.015	3.332	10.952	11.560	13.300	1.939	
Mittelwert	0.199	0.382	1.176	4.053	10.934	11.460	13.253	2.037	
Varianz	0.017	0.077	0.218	2.137	1.415	1.276	0.724	0.039	
Streuung	0.191	0.278	0.467	1.462	1.190	1.129	0.851	0.196	
Mittelw. / Beta	0.008	0.016	0.049	0.170	0.457	0.479	0.555		
Tau max. = 100%	1.5 %	2.9 %	8.9 %	30.6 %	82.5 %	86.5 %	100.0 %		
Tau max. 20 C	1.0 %	1.9 %	5.7 %	19.8 %	53.4 %	55.9 %	64.7 %		
K/QII/S2/4/600	0.039	0.116	0.376	1.190	4.771	5.094	6.194	3.352	
K/QII/S2/26/600	0.001	0.132	0.303	0.794	3.911	4.412	7.078	4.209	
Mittelwert	0.020	0.124	0.340	0.992	4.341	4.753	6.636	4.030	
Varianz	0.000	0.000	0.001	0.039	0.185	0.116	0.195	0.017	
Streuung	0.019	0.008	0.037	0.198	0.430	0.341	0.442	0.128	
Mittelw. / Beta	0.002	0.011	0.030	0.088	0.384	0.421	0.587		
Tau max. = 100%	0.3 %	1.9 %	5.1 %	14.9 %	65.4 %	71.6 %	100.0 %		
Tau max. 20 C	0.1 %	0.6 %	1.7 %	4.8 %	21.2 %	23.2 %	32.4 %		
K/QII/S2/25/700	0.071	0.209	0.519	1.161	3.690	3.993	5.262	4.832	
Mittelwert	0.071	0.209	0.519	1.161	3.690	3.993	5.262	4.832	
Mittelw. / Beta	0.008	0.024	0.059	0.132	0.419	0.447	0.598		
Tau max. = 100%	1.4 %	4.0 %	9.9 %	22.1 %	70.1 %	74.8 %	100.0 %		
Tau max. 20 C	0.3 %	1.0 %	2.5 %	5.7 %	18.0 %	19.2 %	25.7 %		

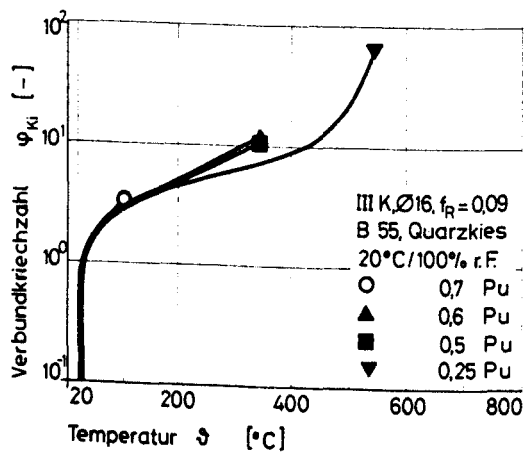
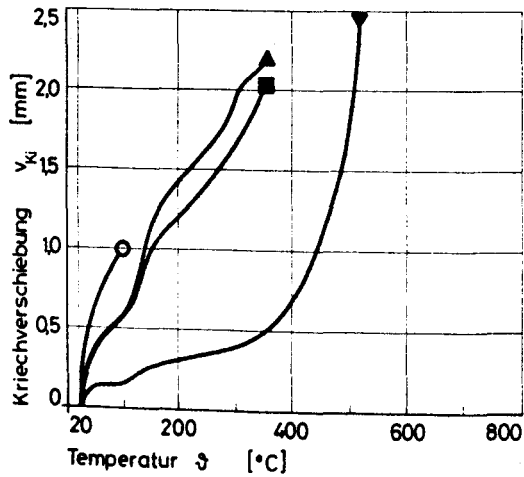
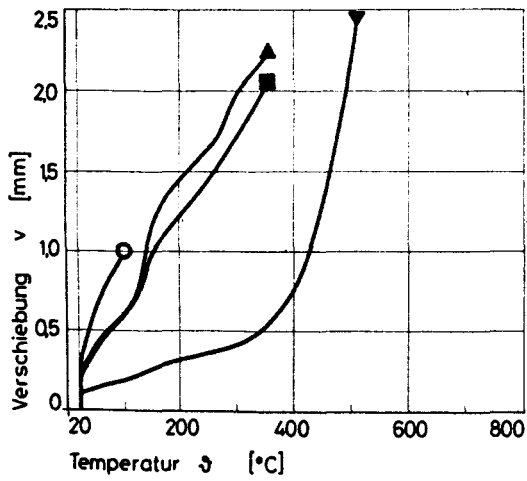
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie K/QII/S2
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}} \right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



K/QII/S2	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	1,53	20,49	1,15	1,42
150 °C	0,40	18,60	0,91	2,03
200 °C	-	-	-	-
300 °C	0,84	21,48	1,41	1,48
400 °C	0,25	16,67	1,77	2,10
500 °C	0,20	13,25	2,04	1,70
600 °C	0,04	6,64	4,08	1,34
700 °C	0,07	5,26	4,83	1,21

2. Instationäre Kriechversuche



K/KI/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

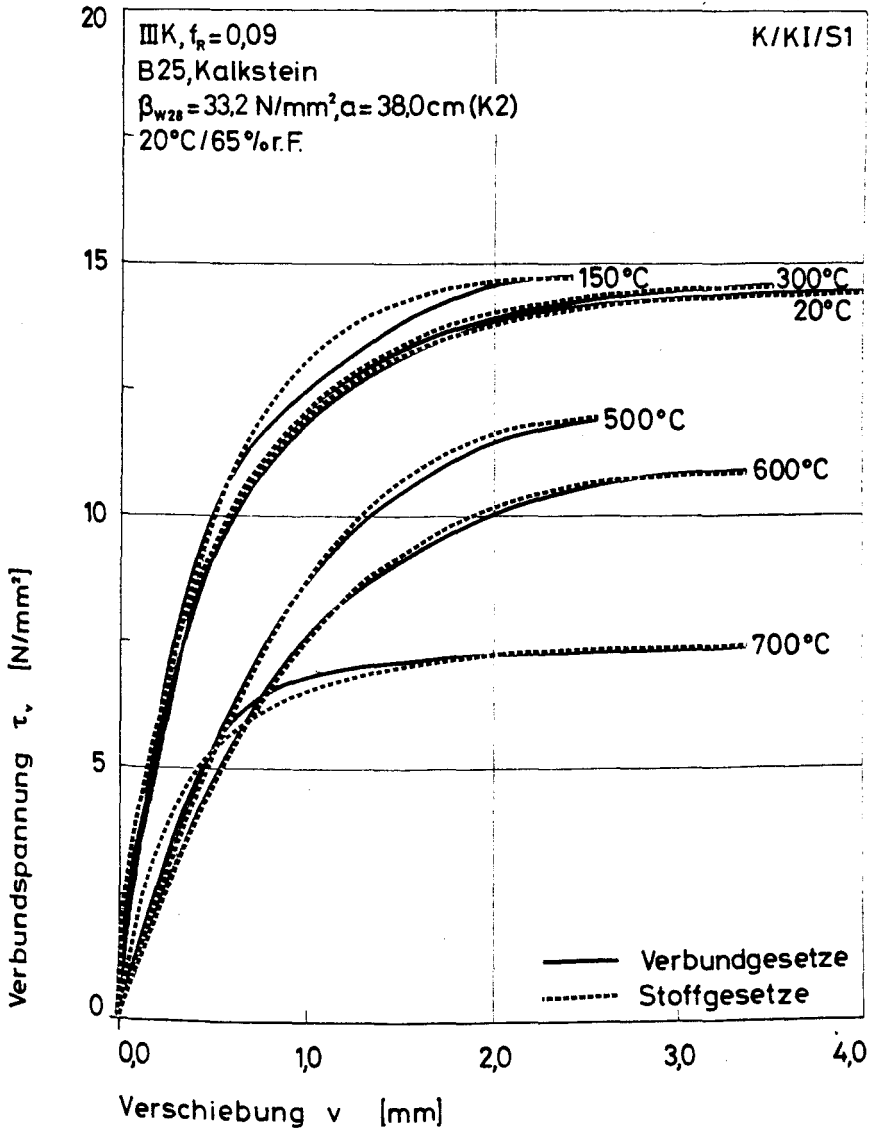
***** K/KI/S1 *****

Stahl : IIIK , $f(R)=0.09$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B25
 Zuschlagsart : KALKSTEIN
 Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.91
 Wasser-Zement-Wert : 0.90
 Ausbreitmass : 38.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.10
 Beta-W,28 : 33.2 N/mm**2
 Beta-W,VD : 38.4 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.77 N/mm**2

Ausziehversuche :			Inst. Kriechversuche :	
Temperatur	Nummer	Anzahl	Belastungsgrad	Anzahl
20 GRD : 6,10,14		3	0.25 P/P(20) :	1
150 Grd : 15		1	0.35 P/P(20) :	-
200 Grd :		-	0.50 P/P(20) :	2
300 Grd : 2,3,5		3	0.60 P/P(20) :	3
400 Grd :		-		
500 Grd : 4,7,8		3		
600 Grd : 18,19		2		
700 Grd : 16		1		

(Datenfile z.B.: K/KI/S1/6/20)

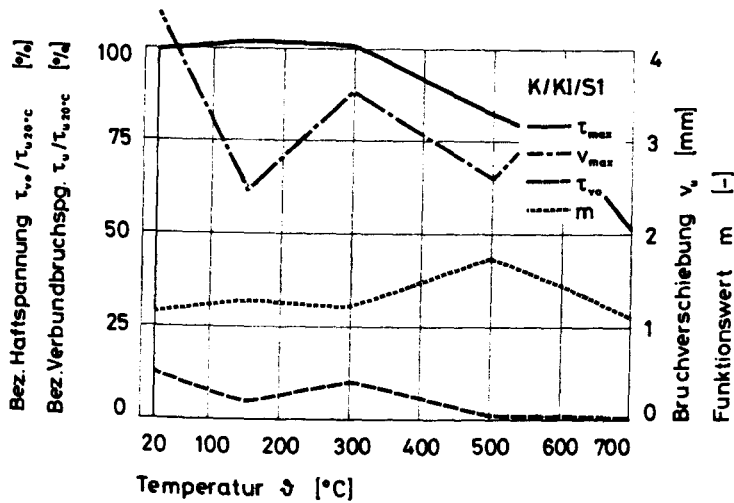
Bemerkungen :



K/KI/S1	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{05} N/mm ²	τ_{07} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
K/KI/S1/6/20	1.758	1.953	3.778	7.383	11.609	12.052	14.559	4.765
K/KI/S1/10/20	1.630	2.127	3.919	7.426	11.631	12.011	14.650	3.679
K/KI/S1/14/20	1.967	2.634	4.342	7.175	10.997	11.375	14.180	4.565
Mittelwert	1.785	2.238	4.013	7.328	11.412	11.813	14.463	4.336
Varianz	0.018	0.083	0.057	0.012	0.086	0.096	0.041	0.223
Streuung	0.139	0.289	0.240	0.110	0.294	0.310	0.204	0.472
Mittelw. / Beta	0.063	0.079	0.142	0.260	0.405	0.419	0.513	
Tau max. = 100%	12.3 %	15.5 %	27.7 %	50.7 %	78.9 %	81.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	12.2 %	15.3 %	27.5 %	50.2 %	78.1 %	80.9 %	99.0 %	
K/KI/S1/12/150	0.712	2.218	3.865	8.074	12.104	12.306	14.254	3.861
K/KI/S1/15/150	0.654	0.878	3.518	7.571	12.092	12.385	14.733	2.445
Mittelwert	0.689	1.548	3.692	7.822	12.098	12.346	14.493	3.153
Varianz	0.001	0.449	0.030	0.063	0.000	0.002	0.057	0.501
Streuung	0.029	0.670	0.174	0.252	0.006	0.040	0.240	0.708
Mittelw. / Beta	0.027	0.061	0.145	0.308	0.476	0.486	0.571	
Tau max. = 100%	4.7 %	10.7 %	25.5 %	54.0 %	83.5 %	85.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	4.7 %	10.7 %	25.5 %	54.1 %	83.6 %	85.4 %	100 %	
K/KI/S1/2/300	1.068	1.077	2.142	5.498	11.583	12.090	15.590	4.103
K/KI/S1/3/300	1.376	1.638	3.156	6.527	11.445	11.837	13.661	2.921
K/KI/S1/5/300	1.842	2.139	4.206	8.013	12.025	12.254	14.372	3.512
Mittelwert	1.428	1.618	3.168	6.679	11.684	12.060	14.541	3.512
Varianz	0.101	0.188	0.710	1.066	0.061	0.023	0.634	0.233
Streuung	0.318	0.424	0.843	1.032	0.247	0.172	0.797	0.483
Mittelw. / Beta	0.053	0.065	0.128	0.269	0.471	0.486	0.586	
Tau max. = 100%	9.8 %	11.1 %	21.8 %	45.8 %	80.4 %	82.9 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	9.9 %	11.2 %	21.9 %	46.2 %	80.8 %	83.4 %	100 %	
K/KI/S1/4/500	0.039	0.258	0.843	2.481	7.053	7.583	10.612	2.260
K/KI/S1/7/500	0.110	0.203	1.197	3.347	8.598	9.079	12.126	2.686
K/KI/S1/8/500	0.139	0.206	1.069	3.555	8.666	9.244	12.989	2.842
Mittelwert	0.096	0.222	1.036	3.328	8.106	8.636	11.909	2.596
Varianz	0.002	0.001	0.021	0.384	0.555	0.558	0.965	0.061
Streuung	0.042	0.025	0.146	0.620	0.745	0.747	0.982	0.246
Mittelw. / Beta	0.004	0.010	0.047	0.151	0.367	0.391	0.539	
Tau max. = 100%	0.8 %	1.9 %	8.7 %	27.9 %	68.1 %	72.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.7 %	1.5 %	7.2 %	23.0 %	56.0 %	59.7 %	82.3 %	
K/KI/S1/18/600	0.032	0.049	0.744	3.558	8.012	8.418	10.816	3.205
K/KI/S1/19/600	0.038	0.086	0.427	2.176	6.311	6.823	10.340	3.533
Mittelwert	0.035	0.068	0.586	2.867	7.162	7.621	10.878	3.399
Varianz	0.000	0.000	0.025	0.477	0.723	0.636	0.004	0.038
Streuung	0.003	0.019	0.159	0.691	0.851	0.798	0.062	0.194
Mittelw. / Beta	0.002	0.003	0.027	0.132	0.330	0.351	0.501	
Tau max. = 100%	0.3 %	0.6 %	5.4 %	26.4 %	65.8 %	70.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.2 %	0.5 %	4.0 %	19.8 %	49.5 %	52.7 %	75.2 %	
K/KI/S1/16/700	0.023	0.440	1.410	3.671	6.710	6.813	7.388	3.410
Mittelwert	0.023	0.440	1.410	3.671	6.710	6.813	7.388	3.410
Mittelw. / Beta	0.001	0.026	0.083	0.217	0.337	0.403	0.437	
Tau max. = 100%	0.3 %	6.0 %	19.1 %	49.7 %	90.8 %	92.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.2 %	3.0 %	9.7 %	25.4 %	46.4 %	47.1 %	51.1 %	

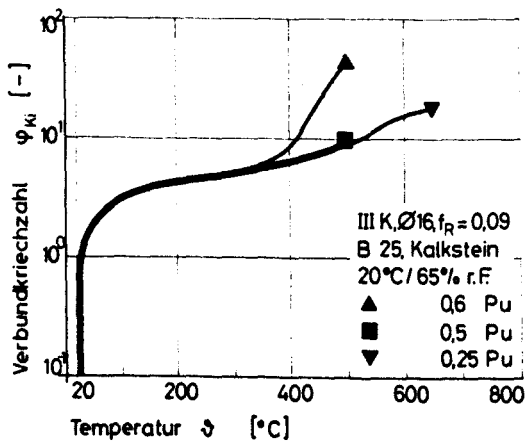
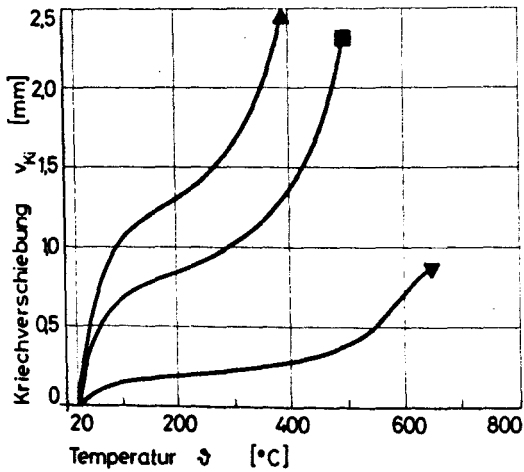
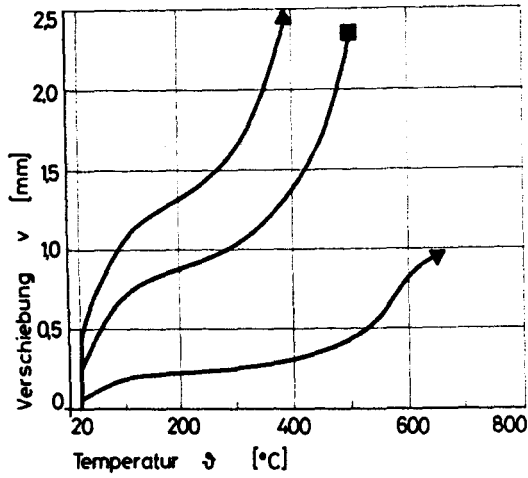
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie K/KI/S1
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



K/KI/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	1,79	14,46	4,38	1,14
150 °C	0,65	14,73	2,45	1,27
200 °C	-	-	-	-
300 °C	1,43	14,54	3,55	1,20
400 °C	-	-	-	-
500 °C	0,10	11,91	2,60	1,72
600 °C	0,04	10,88	3,40	1,44
700 °C	0,03	7,39	3,41	1,11

2. Instationäre Kriechversuche



K/KI/S2

1. Zentrische Ausziehversuche

***** K/KI/S2 *****

Stahl : IIIK , $f(R)=0.09$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B25
 Zuschlagsart : KALKSTEIN
 Lagerungsart : 20 Grd, 100%r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.91
 Wasser-Zement-Wert : 0.88
 Ausbreitmass : 36.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.15
 Beta-W,28 : 32.2 N/mm**2
 Beta-W,VD : 37.5 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.84 N/mm**2

Ausziehversuche :

Temperatur Nummer

Anzahl

20 GRD : 6,10,14

3

150 Grd : 18

1

200 Grd :

-

300 Grd : 7,17,20

3

400 Grd :

-

500 Grd : 15,16

2

600 Grd : 2,9,12

3

700 Grd : 4

1

Inst. Kriechversuche :

Belastungsgrad

Anzahl

0.25 P/P(20) :

1

0.35 P/P(20) :

-

0.50 P/P(20) :

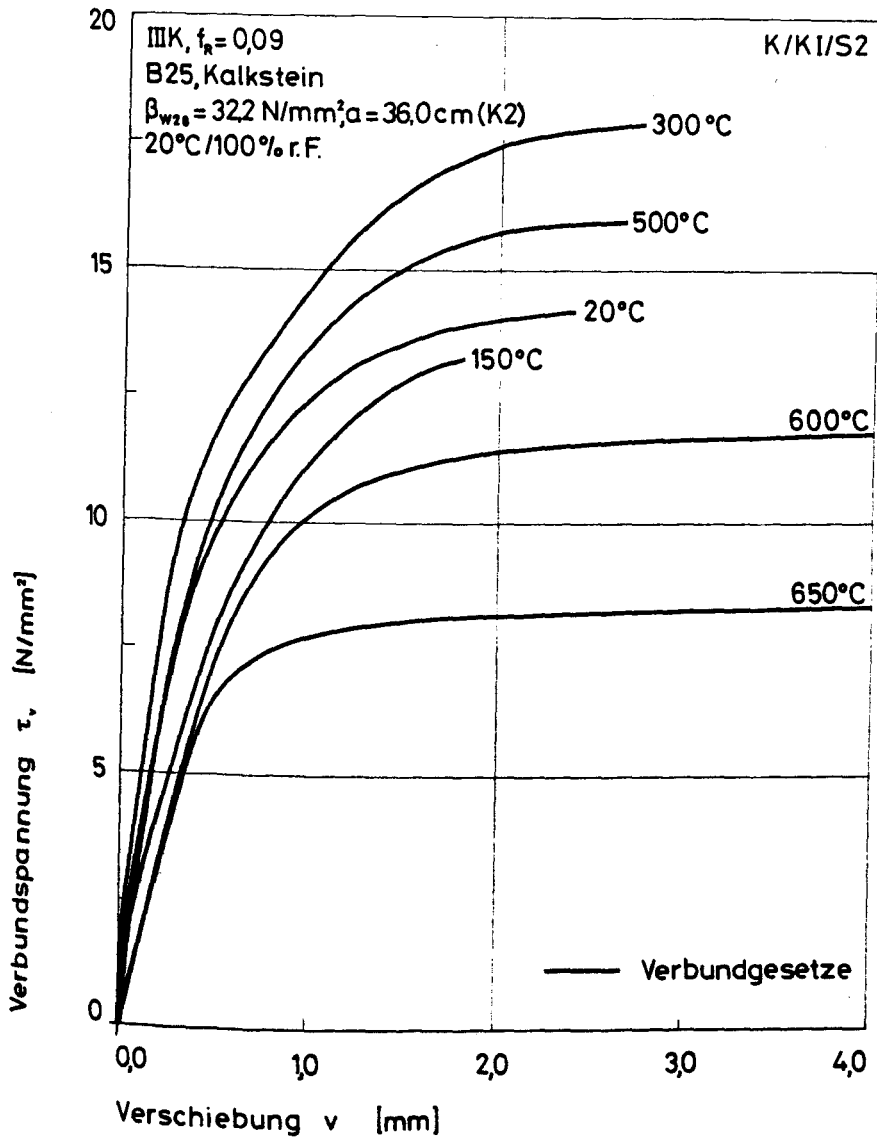
2

0.60 P/P(20) :

3

(Datenfile z.R.: K/KI/S2/18/150)

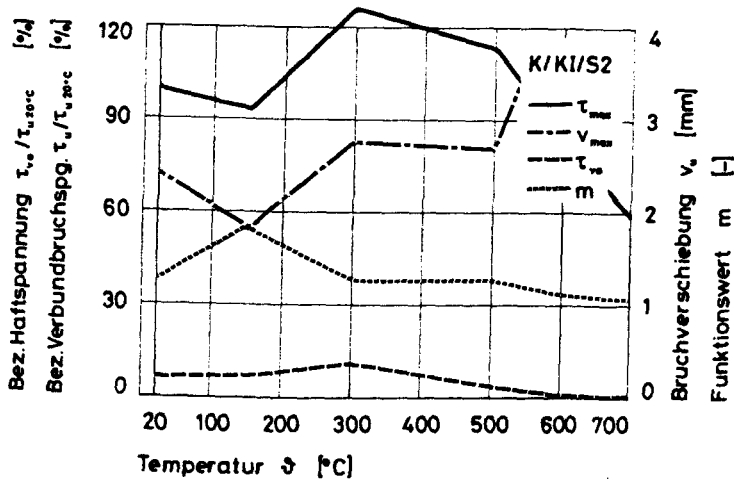
Bemerkungen :



K/KI/S2	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{05} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
K/KI/S2/6/20	1.747	2.181	4.169	7.851	12.894	13.292	14.754	2.001
K/KI/S2/10/20	0.994	0.680	3.669	7.612	11.613	11.961	13.957	2.574
K/KI/S2/14/20	0.714	1.166	3.303	7.178	11.584	11.965	13.681	2.622
Mittelwert	0.952	1.342	3.714	7.547	12.030	12.406	14.131	2.399
Varianz	0.333	0.391	0.126	0.078	0.373	0.393	0.207	0.080
Streuung	0.577	0.625	0.355	0.279	0.611	0.626	0.455	0.282
Mittelw. / Beta	0.034	0.048	0.132	0.268	0.427	0.440	0.501	
Tau max. = 100%	6.7 %	9.5 %	26.3 %	53.4 %	85.1 %	87.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	6.7 %	9.4 %	26.0 %	52.9 %	84.3 %	86.9 %	99.0 %	
K/KI/S2/7/300	1.564	1.989	4.146	8.672	13.873	14.363	17.206	2.645
K/KI/S2/17/300	1.843	4.397	6.987	10.303	14.442	15.037	18.362	2.879
K/KI/S2/20/300	1.238	2.143	4.917	9.860	13.786	14.273	17.983	2.820
Mittelwert	1.548	2.843	5.350	9.612	14.034	14.557	17.850	2.781
Varianz	0.081	1.211	1.439	0.474	0.085	0.116	0.232	0.010
Streuung	0.247	1.101	1.200	0.689	0.291	0.341	0.481	0.099
Mittelw. / Beta	0.062	0.115	0.216	0.388	0.566	0.587	0.720	
Tau max. = 100%	8.7 %	15.9 %	30.0 %	53.8 %	78.6 %	81.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	11.0 %	20.1 %	37.9 %	68.0 %	99.3 %	103 %	126 %	
K/KI/S2/15/500	0.791	1.389	4.002	7.956	13.305	13.762	16.063	2.363
K/KI/S2/16/500	0.148	0.851	2.715	7.278	12.674	13.147	15.368	2.363
Mittelwert	0.469	1.120	3.359	7.617	12.890	13.455	16.015	2.374
Varianz	0.103	0.072	0.414	0.115	0.100	0.095	0.062	0.033
Streuung	0.322	0.269	0.644	0.339	0.316	0.308	0.048	0.305
Mittelw. / Beta	0.021	0.051	0.152	0.345	0.588	0.609	0.725	
Tau max. = 100%	2.9 %	7.0 %	21.0 %	47.6 %	81.1 %	84.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	3.3 %	7.9 %	23.8 %	53.9 %	91.9 %	95.2 %	113 %	
K/KI/S2/2/600	0.094	0.282	1.250	5.139	10.090	10.411	11.732	4.335
K/KI/S2/9/600	0.089	0.401	1.357	4.855	10.032	10.353	11.715	4.556
K/KI/S2/12/600	0.047	0.230	1.018	4.212	9.276	9.686	11.359	4.993
Mittelwert	0.076	0.304	1.208	4.735	9.799	10.150	11.802	4.628
Varianz	0.000	0.005	0.020	0.150	0.137	0.108	0.012	0.075
Streuung	0.021	0.072	0.141	0.388	0.371	0.329	0.111	0.273
Mittelw. / Beta	0.004	0.014	0.056	0.218	0.452	0.468	0.544	
Tau max. = 100%	0.6 %	2.6 %	10.2 %	40.1 %	83.0 %	86.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.5 %	2.2 %	8.6 %	33.5 %	69.3 %	71.8 %	83.5 %	
K/KI/S2/4/650	0.042	0.153	1.663	4.639	7.634	7.751	8.330	4.478
Mittelwert	0.042	0.153	1.663	4.639	7.634	7.751	8.330	4.478
Mittelw. / Beta	0.002	0.008	0.035	0.238	0.331	0.337	0.427	
Tau max. = 100%	0.5 %	1.8 %	20.0 %	55.7 %	91.6 %	93.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.3 %	1.1 %	11.8 %	32.8 %	54.0 %	54.8 %	59.0 %	

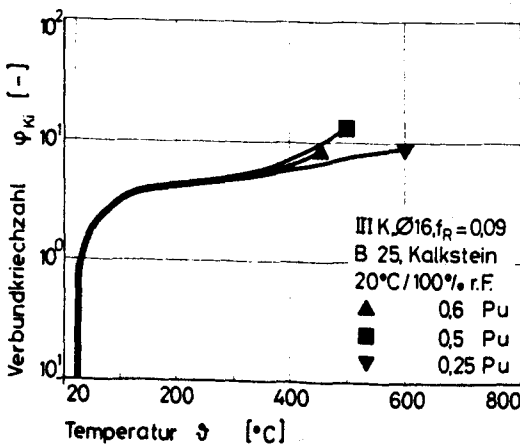
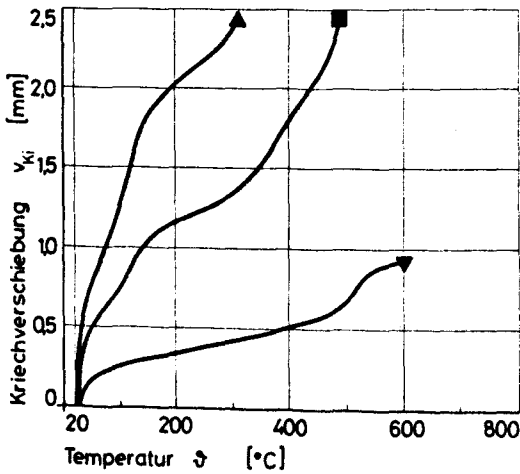
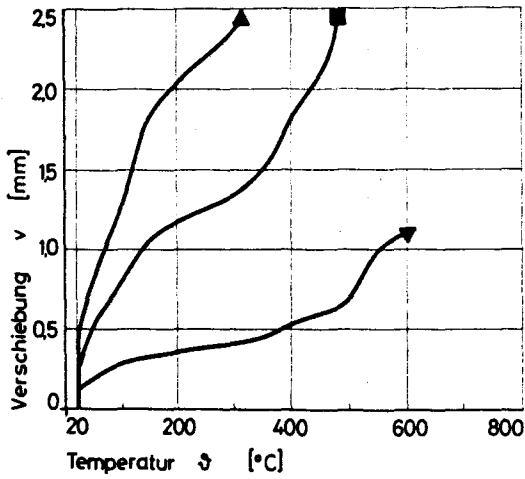
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie K/KI/S2
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



K/KI/S2	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	0,95	14,13	2,42	1,25
150 °C	0,99	13,23	1,83	1,84
200 °C	-	-	-	-
300 °C	1,55	17,85	2,78	1,26
400 °C	-	-	-	-
500 °C	0,47	16,02	2,67	1,26
600 °C	0,08	11,80	4,63	1,11
700 °C	0,04	8,33	4,48	1,06

2. Instationäre Kriechversuche



K/LT/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

***** K/LT/S1 *****

Stahl : IIIK , $f(R)=0.09$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : LB25
 Zuschlagsart : BLAEHTON
 Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
 KORNGRUPPEN : 0/4,4/8,8/16
 Koernungsziffer :
 Wasser-Zement-Wert : 0.51
 Ausbreitmass : 32.5 cm
 Verdichtungsmass : 1.24
 Beta-W,28 : 29.2 N/mm**2
 Beta-W,VD : 33.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 1.97 N/mm**2

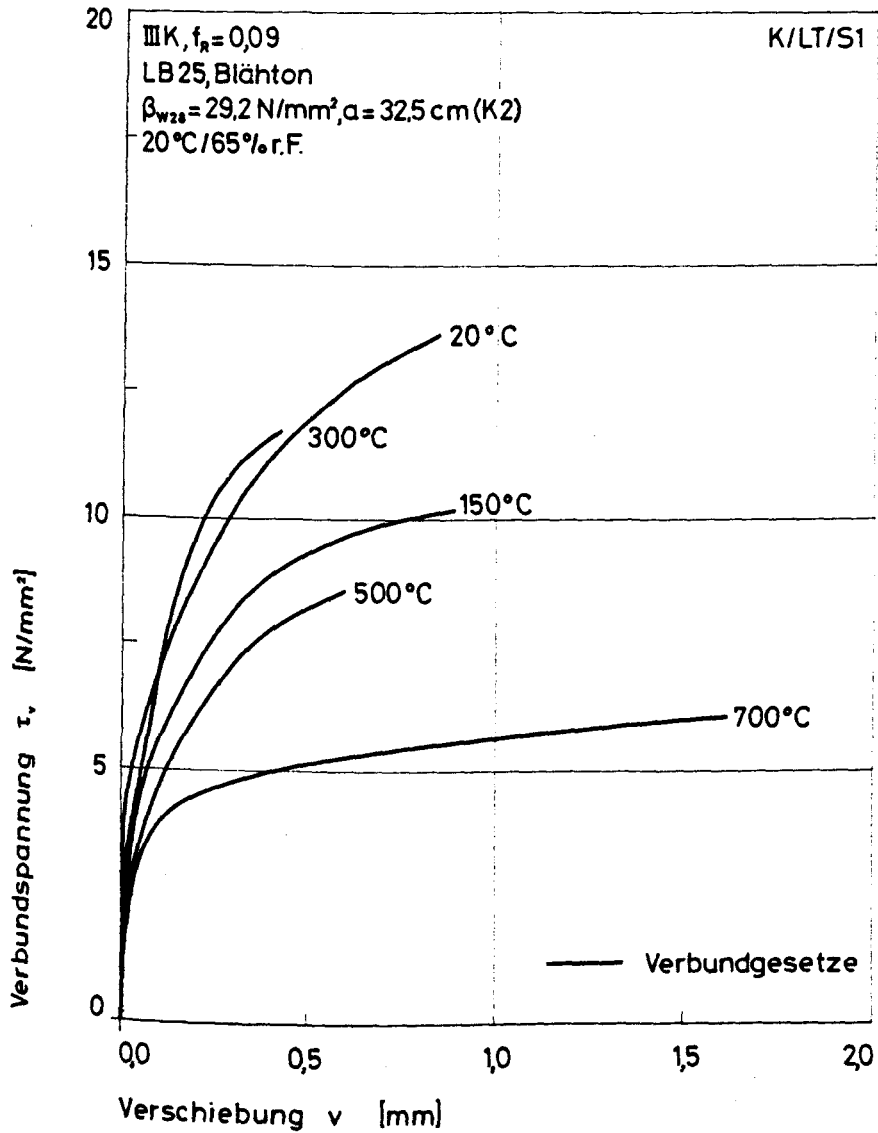
Ausziehversuche :

Inst. Kriechversuche :

Temperatur	Nummer	Anzahl	Belastungsgrad	Anzahl
20 Grd :	7,9,14,23,27,30	6	0.25 P/P(20) :	-
150 Grd :	1,2,11,15	4	0.35 P/P(20) :	3
200 Grd :		-	0.50 P/P(20) :	5
300 Grd :	5,13,18	3	0.60 P/P(20) :	3
400 Grd :		-	0.70 P/P(20) :	3
500 Grd :	6,16	2	0.80 P/P(20) :	1
600 Grd :		-		
700 Grd :	3,8,12	3		

(Datenfile z.B.: K/LT/S1/15/150)

Bemerkungen :

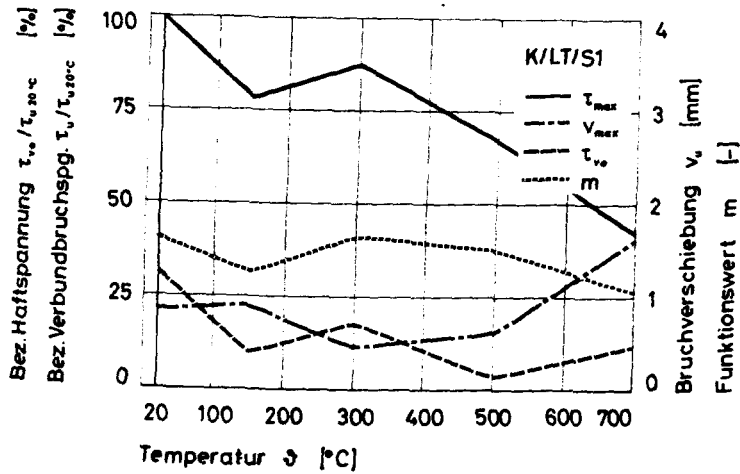


K/LT/S1	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{02} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
K/LT/S1/7/20	3.965	4.915	5.847	8.509	0.000	0.000	11.064	0.933
K/LT/S1/9/20	0.002	3.550	6.827	10.318	13.253	0.000	13.294	0.927
K/LT/S1/14/20	0.015	6.810	10.625	0.000	0.000	0.000	11.917	0.182
K/LT/S1/23/20	-0.005	0.383	6.058	9.396	12.818	12.883	12.922	1.101
K/LT/S1/27/20	-0.006	0.058	5.224	8.424	13.350	13.532	13.790	1.324
K/LT/S1/30/20	0.000	1.179	6.989	11.093	0.000	0.000	14.009	0.649
Mittelwert	1.324	2.816	6.928	9.548	13.140	13.208	12.833	0.853
Varianz	3.479	6.184	3.085	1.069	0.054	0.105	1.081	0.131
Streuung	1.865	2.487	1.756	1.034	0.231	0.325	1.040	0.362
Mittelw. / Beta	0.042	0.090	0.221	0.305	0.420	0.422	0.410	
Tau max. = 100%	10.3 %	21.9 %	54.0 %	74.4 %	102 %	102 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	10.2 %	21.7 %	53.5 %	73.7 %	101 %	101 %	99.0 %	
K/LT/S1/1/150	1.497	2.188	3.558	5.929	9.695	9.857	10.008	1.370
K/LT/S1/2/150	0.887	1.864	5.088	7.575	9.881	9.943	10.004	1.209
K/LT/S1/11/150	1.883	3.054	4.843	8.275	0.000	0.000	9.443	0.612
K/LT/S1/15/150	0.604	3.477	8.942	10.689	0.000	0.000	10.797	0.390
Mittelwert	1.218	2.645	5.608	8.117	9.788	9.900	10.063	0.895
Varianz	0.252	0.420	4.043	2.930	0.009	0.002	0.232	0.165
Streuung	0.502	0.648	2.011	1.712	0.093	0.043	0.482	0.406
Mittelw. / Beta	0.045	0.098	0.208	0.302	0.364	0.368	0.374	
Tau max. = 100%	12.1 %	26.3 %	55.7 %	80.7 %	97.3 %	98.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	9.5 %	20.6 %	43.7 %	63.3 %	76.3 %	77.1 %	78.4 %	
K/LT/S1/13/300	-0.005	0.061	4.525	0.000	0.000	0.000	11.684	0.266
K/LT/S1/18/300	0.001	0.852	10.008	0.000	0.000	0.000	11.483	0.214
K/LT/S1/5/300	0.000	3.769	5.465	8.950	0.000	0.000	10.417	0.345
Mittelwert	0.002	1.561	6.667	8.950	0.000	0.000	11.195	0.442
Varianz	0.000	2.545	5.731	0.000	0.000	0.000	0.309	0.052
Streuung	0.004	1.595	2.394	0.000	0.000	0.000	0.556	0.286
Mittelw. / Beta	0.000	0.050	0.213	0.286	0.000	0.000	0.358	
Tau max. = 100%	0.0 %	13.9 %	59.6 %	79.9 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	12.2 %	51.9 %	69.7 %	0.0 %	0.0 %	87.2 %	
K/LT/S1/16/500	0.002	0.114	5.158	7.717	0.000	0.000	8.403	0.428
K/LT/S1/6/500	0.001	1.865	4.105	6.149	0.000	0.000	8.864	0.773
Mittelwert	0.002	0.989	4.632	6.933	0.000	0.000	8.634	0.600
Varianz	0.000	0.765	0.277	0.615	0.000	0.000	0.053	0.030
Streuung	0.001	0.875	0.527	0.784	0.000	0.000	0.231	0.172
Mittelw. / Beta	0.000	0.034	0.158	0.236	0.000	0.000	0.294	
Tau max. = 100%	0.0 %	11.4 %	53.6 %	80.3 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	7.7 %	36.1 %	54.0 %	0.0 %	0.0 %	67.3 %	
K/LT/S1/3/700	1.836	2.769	4.590	5.407	5.847	5.883	6.043	2.527
K/LT/S1/12/700	0.363	0.614	3.880	5.034	6.012	6.066	6.234	2.667
Mittelwert	1.100	1.692	4.235	5.221	5.929	5.975	6.138	2.297
Varianz	0.542	1.161	0.126	0.035	0.007	0.008	0.009	0.053
Streuung	0.737	1.078	0.355	0.187	0.083	0.032	0.086	0.230
Mittelw. / Beta	0.043	0.066	0.165	0.204	0.232	0.233	0.240	
Tau max. = 100%	17.9 %	27.6 %	69.0 %	85.1 %	96.6 %	97.3 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	8.6 %	13.2 %	33.0 %	40.7 %	46.2 %	46.6 %	47.8 %	

Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie K/LT/S1

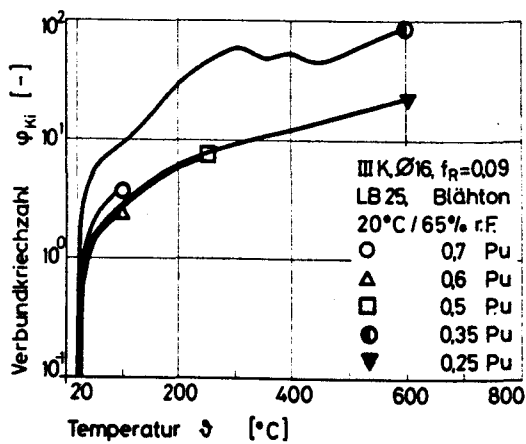
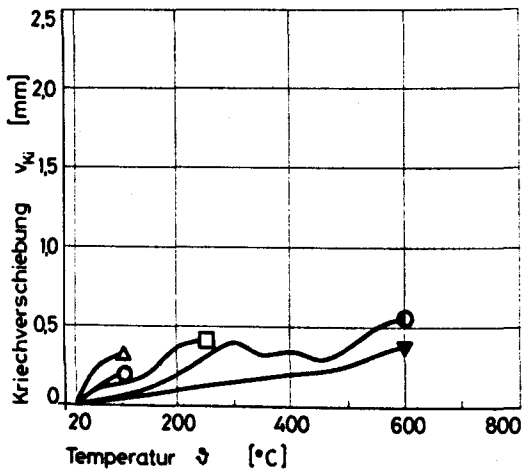
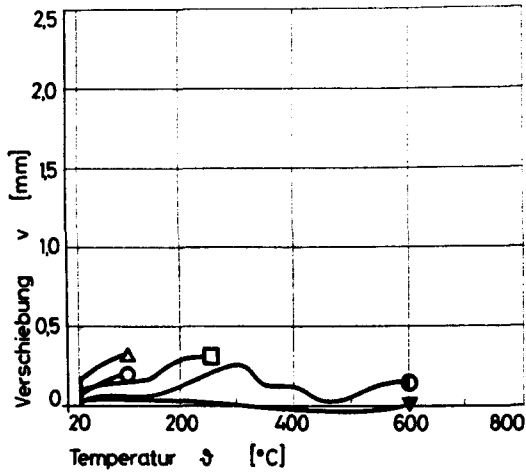
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}} \right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



K/LT/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	3,97	12,83	0,85	1,62
150 °C	1,22	10,06	0,90	1,26
200 °C	-	-	-	-
300 °C	2,24	11,20	0,44	1,64
400 °C	-	-	-	-
500 °C	0,41	8,63	0,60	1,51
600 °C	-	-	-	-
700 °C	1,44	5,38	1,62	1,05

2. Instationäre Kriechversuche



K/LS/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

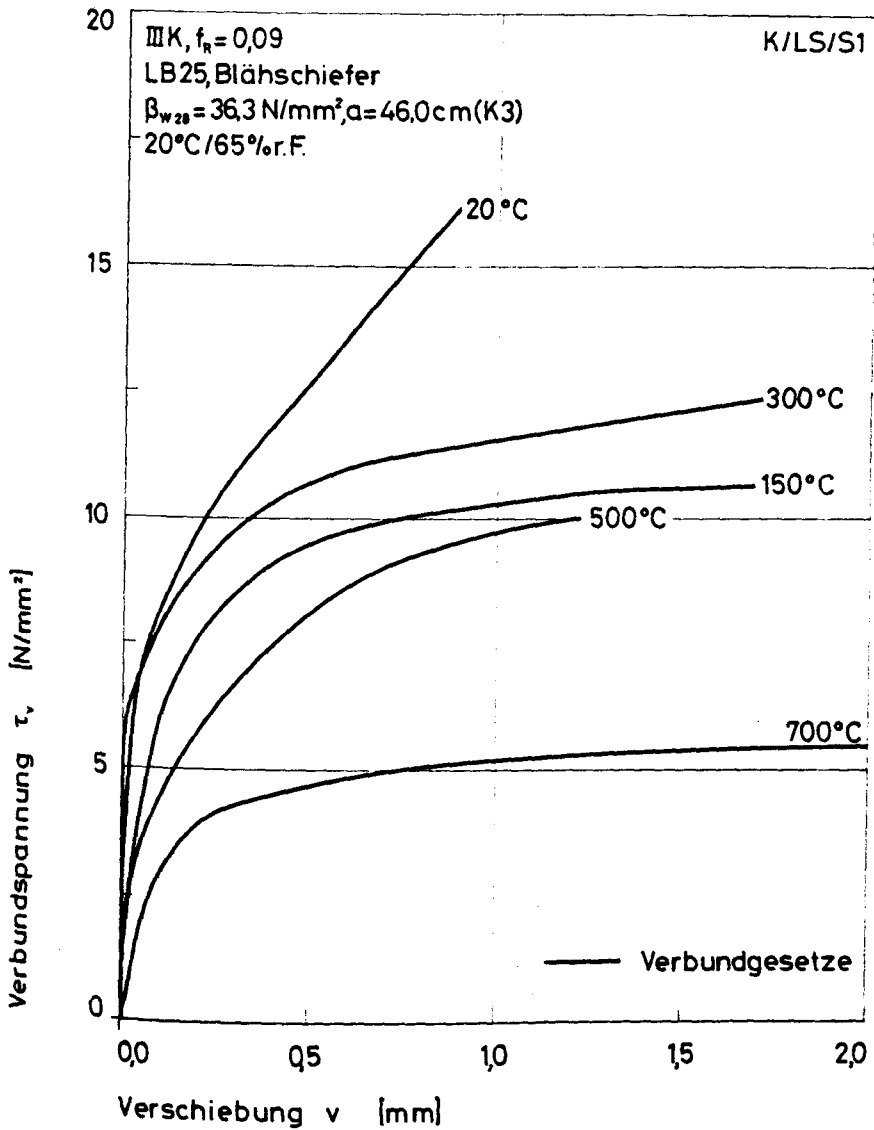
***** K/LS/S1 *****

Stahl : IIIK , $f(R)=0.09$
 Stabdurchmesser : 16 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : LB25
 Zuschlagsart : BLAEHSCHIEFER
 Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
 KORNGRUPPEN : 0/4,4/8,8/16
 Koernungsziffer :
 Wasser-Zement-Wert : 0.53
 Ausbreitmass : 46.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.07
 Beta-W,28 : 36.3 N/mm**2
 Beta-W,VD : 42.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 2.84 N/mm**2

Ausziehversuche :			Inst. Kriechversuche :	
Temperatur	Nummer	Anzahl	Belastungsgrad	Anzahl
20 GRD :	6,10,14,27,30,34	6	0.25 P/P(20) :	-
150 Grd :	1,9,17	3	0.35 P/P(20) :	2
200 Grd :		-	0.40 P/P(20) :	2
300 Grd :	7,12,16	3	0.50 P/P(20) :	4
400 Grd :		-	0.60 P/P(20) :	3
500 Grd :	3,5,8	3	0.70 P/P(20) :	3
600 Grd :		-	0.75 P/P(20) :	1
700 Grd :	4,13,15	3	0.80 P/P(20) :	2

(Datenfile z.B.: K/LS/S1/16/300)

Bemerkungen : Alle Ausziehversuche wurden durch Sprengbruch beendet.

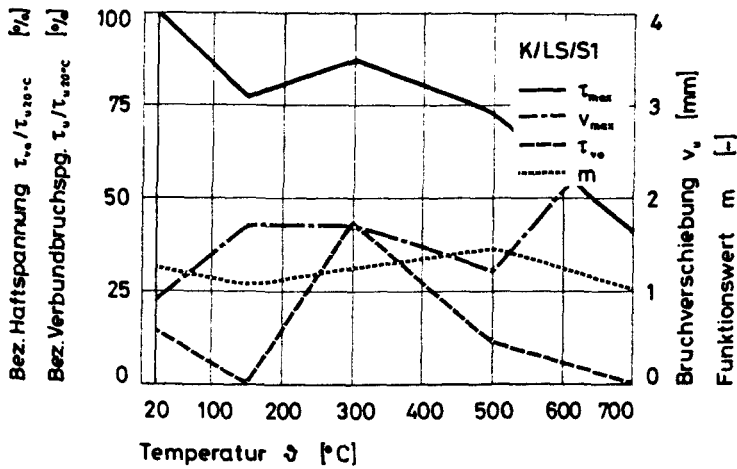


K/LS/S1	T_0 N/mm ²	T_{Q01} N/mm ²	T_{Q1} N/mm ²	T_{Q3} N/mm ²	T_{Q9} N/mm ²	T_{10} N/mm ²	T_U N/mm ²	V_{max} mm
K/LS/S1/6/20	3.456	5.661	7.282	9.777	12.551	12.647	12.779	1.223
K/LS/S1/10/20	1.671	4.995	6.866	9.276	0.000	0.000	11.735	0.769
K/LS/S1/14/20	2.472	4.606	6.627	9.359	12.596	0.000	12.691	1.013
K/LS/S1/27/20	0.537	3.057	10.119	13.025	0.000	0.000	14.715	0.572
K/LS/S1/30/20	0.002	3.287	9.421	12.337	0.000	0.000	13.750	0.458
K/LS/S1/34/20	-0.001	2.856	8.104	11.999	14.742	14.792	16.145	1.400
Mittelwert	1.628	4.077	8.070	10.862	13.296	13.719	13.636	0.906
Varianz	1.578	1.131	1.696	2.182	1.045	1.150	2.119	0.115
Streuung	1.256	1.064	1.302	1.477	1.022	1.073	1.456	0.338
Mittelw. / Beta	0.040	0.101	0.201	0.270	0.331	0.341	0.339	
Tau max. = 100%	11.9 %	29.9 %	59.2 %	79.7 %	97.5 %	100 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	11.8 %	29.6 %	58.6 %	78.9 %	96.5 %	99.6 %	99.0 %	
K/LS/S1/9/150	-0.001	2.004	7.255	8.869	10.172	10.250	10.541	1.929
K/LS/S1/11/150	0.004	2.372	6.682	8.167	10.422	10.517	10.897	1.838
K/LS/S1/17/150	0.002	3.907	5.815	7.840	9.892	10.038	10.301	1.352
Mittelwert	0.002	2.761	6.584	8.292	10.162	10.268	10.580	1.706
Varianz	0.000	0.679	0.350	0.184	0.047	0.038	0.060	0.064
Streuung	0.001	0.824	0.592	0.429	0.216	0.196	0.245	0.253
Mittelw. / Beta	0.000	0.065	0.155	0.195	0.239	0.241	0.248	
Tau max. = 100%	0.0 %	26.1 %	62.2 %	78.4 %	96.1 %	97.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	20.2 %	48.3 %	60.8 %	74.5 %	75.3 %	77.6 %	
K/LS/S1/7/300	5.936	6.321	8.417	11.013	0.000	0.000	12.231	0.765
K/LS/S1/12/300	0.002	0.023	6.274	7.564	10.256	10.488	11.488	2.106
K/LS/S1/16/300	0.027	0.258	8.621	10.244	11.476	11.492	12.112	2.321
Mittelwert	1.988	2.201	7.771	9.607	10.866	10.990	11.977	1.751
Varianz	7.792	8.498	1.127	2.185	0.372	0.252	0.128	0.473
Streuung	2.791	2.915	1.062	1.478	0.610	0.502	0.357	0.688
Mittelw. / Beta	0.053	0.058	0.206	0.254	0.287	0.291	0.317	
Tau max. = 100%	16.6 %	18.4 %	64.9 %	80.2 %	90.7 %	91.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	14.6 %	16.1 %	57.0 %	70.5 %	79.7 %	80.6 %	87.8 %	
K/LS/S1/3/500	0.011	0.102	3.302	5.538	8.522	8.785	9.108	1.304
K/LS/S1/5/500	0.001	3.513	5.745	7.893	10.323	10.442	10.483	1.051
K/LS/S1/8/500	0.001	0.193	3.973	6.380	9.773	9.964	10.352	1.335
Mittelwert	0.004	1.269	4.340	6.604	9.599	9.731	9.981	1.229
Varianz	0.000	2.518	1.062	0.949	0.568	0.485	0.384	0.016
Streuung	0.005	1.587	1.031	0.974	0.754	0.696	0.620	0.127
Mittelw. / Beta	0.000	0.043	0.148	0.225	0.324	0.331	0.339	
Tau max. = 100%	0.0 %	12.7 %	43.5 %	66.2 %	95.6 %	97.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	9.3 %	31.8 %	48.4 %	70.0 %	71.4 %	73.2 %	
K/LS/S1/4/700	0.000	0.019	2.854	3.958	4.912	4.970	5.332	2.942
K/LS/S1/13/700	0.002	0.393	3.917	4.348	5.188	5.268	5.601	2.958
K/LS/S1/15/700	0.003	1.308	4.014	4.618	5.299	5.348	5.599	2.928
Mittelwert	0.003	0.573	3.595	4.308	5.133	5.195	5.511	2.943
Varianz	0.000	0.293	0.276	0.073	0.026	0.026	0.016	0.000
Streuung	0.001	0.541	0.525	0.271	0.163	0.163	0.126	0.012
Mittelw. / Beta	0.000	0.025	0.157	0.188	0.224	0.227	0.241	
Tau max. = 100%	0.1 %	10.4 %	65.2 %	78.2 %	93.2 %	94.3 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	4.2 %	26.4 %	31.6 %	37.6 %	38.1 %	40.4 %	

Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie K/LS/S1

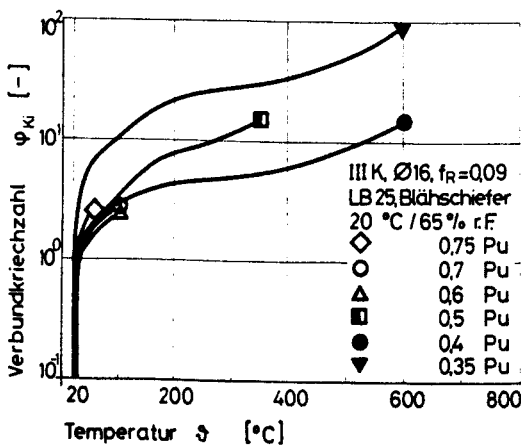
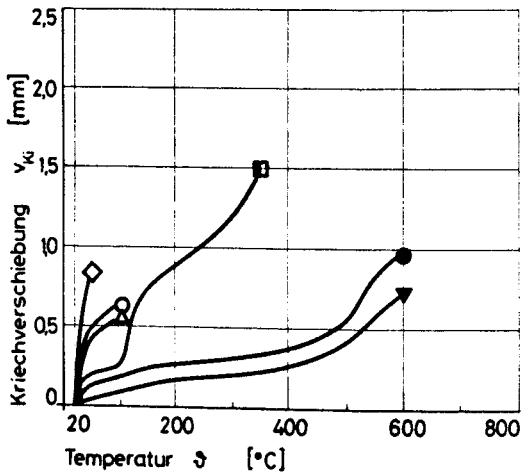
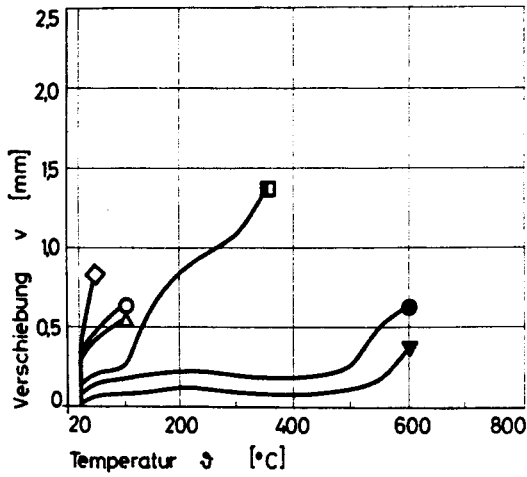
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



K/LS/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	2,03	13,64	0,91	1,26
150 °C	0,00	10,58	1,71	1,08
200 °C	-	-	-	-
300 °C	5,94	11,98	1,73	1,24
400 °C	-	-	-	-
500 °C	1,50	9,93	1,23	1,46
600 °C	-	-	-	-
700 °C	0,00	5,51	2,94	1,04

2. Instationäre Kriechversuche



Sp/Q II/L1

1. Zentrische Ausziehversuche

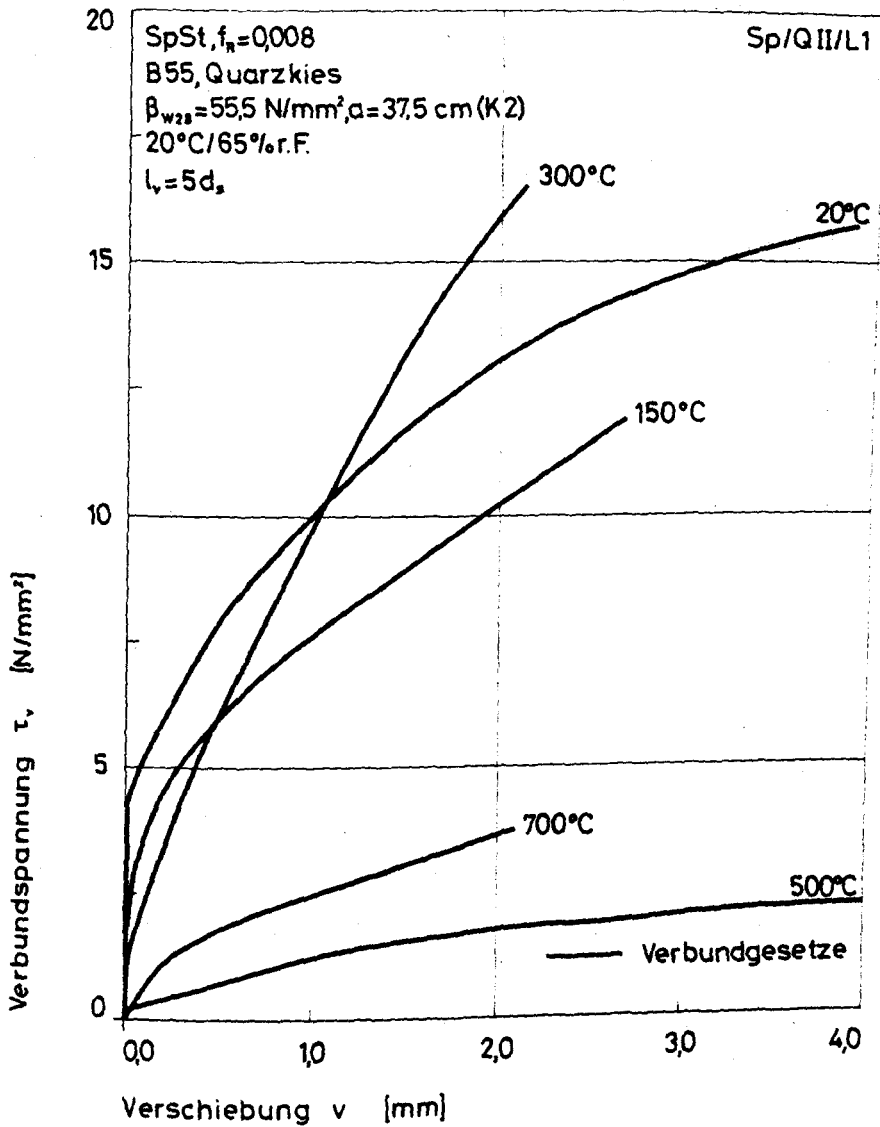
***** SP/QII/L1 *****

Spannstahl : 1470/1670 , $f(R)=0.008$
 Stabdurchmesser : 7.5 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B55
 Zuschlagsart : QUARZKIES
 Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 4.26
 Wasser-Zement-Wert : 0.58
 Ausbreitmass : 37.5 cm
 Verdichtungsmass : 1.10
 Beta-W,28 : 55.5 N/mm**2
 Beta-W,VD : 59.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 3.59 N/mm**2

Ausziehversuche :		Inst. Kriechversuche :		
Temperatur	Nummer	Anzahl	Belastungsgrad	Anzahl
20 GRD :	10,11,26,27,30	5	0.25 P/P(20) :	2
150 Grd :	3,6	2	0.35 P/P(20) :	3
200 Grd :		-	0.50 P/P(20) :	3
300 Grd :	4,9,12	3	0.60 P/P(20) :	2
400 Grd :		-		
500 Grd :	1,2	2		
600 Grd :		-		
700 Grd :	5,8	2		

(Datenfile z.B.: SP/QII/L1/12/300)

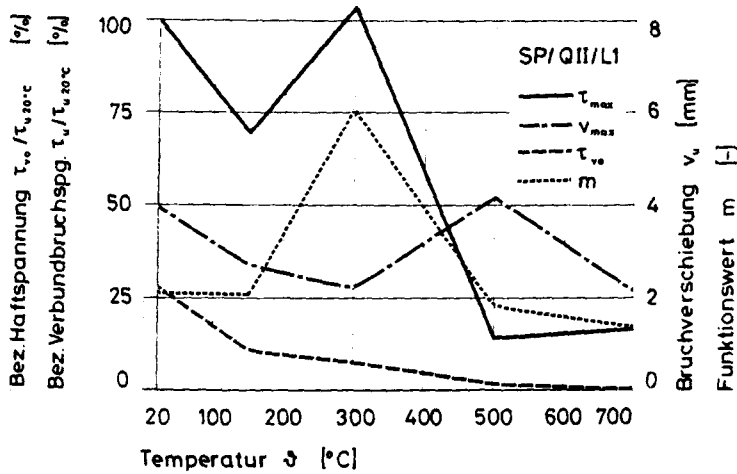
Bemerkungen : Die Versuchsergebnisse streuten betraechtlich.
 Bei den Ausziehversuchen traten bei allen Temperaturen
 sprunghafte Stabendverschiebungen und schlagartige Entlast-
 ungen auf. Eine Auswertung ueber die dargestellten Werte
 war nicht moeglich.



SP/QII/L1	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{09} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	V_{max} mm
SP/QII/L1/10/20	3.907	4.773	5.397	6.462	9.194	9.370	13.597	3.585
SP/QII/L1/11/20	6.767	7.665	7.994	8.727	10.257	10.448	19.039	4.170
SP/QII/L1/26/20	0.000	1.317	2.195	4.657	7.771	8.227	14.389	4.241
SP/QII/L1/27/20	0.003	3.469	4.343	6.089	9.460	9.952	15.897	4.282
SP/QII/L1/30/20	-0.011	3.407	5.363	7.598	10.737	11.217	16.397	3.601
Mittelwert	3.555	4.126	5.058	6.707	9.484	9.843	15.849	3.976
Varianz	7.686	4.356	3.507	1.904	1.037	1.020	3.520	0.099
Streuung	2.772	2.087	1.873	1.380	1.018	1.010	1.876	0.315
Mittelw. / Beta	0.063	0.074	0.090	0.120	0.169	0.176	0.283	
Tau max. = 100%	22.4 %	26.0 %	31.9 %	42.3 %	59.8 %	62.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	22.2 %	25.8 %	31.6 %	41.9 %	59.2 %	61.5 %	99.0 %	
SP/QII/L1/3/150	2.193	2.468	3.385	4.325	6.140	6.401	14.819	8.836
SP/QII/L1/6/150	1.219	3.195	4.537	5.803	8.093	8.443	15.391	2.687
Mittelwert	1.706	2.831	3.961	5.064	7.116	7.422	15.075	5.761
Varianz	0.237	0.192	0.332	0.546	0.954	1.042	0.066	9.453
Streuung	0.487	0.364	0.576	0.739	0.977	1.021	0.256	3.074
Mittelw. / Beta	0.038	0.063	0.088	0.113	0.159	0.166	0.337	
Tau max. = 100%	11.3 %	18.8 %	26.3 %	33.6 %	47.2 %	49.2 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	10.8 %	17.9 %	25.0 %	32.0 %	44.9 %	46.8 %	95.1 %	
SP/QII/L1/12/300	0.584	0.963	2.111	4.295	7.884	8.333	20.485	3.353
SP/QII/L1/4/300	0.009	0.152	1.443	4.338	10.685	11.570	12.479	1.146
SP/QII/L1/9/300	0.028	2.320	3.372	4.649	7.370	8.309	21.437	5.223
Mittelwert	0.205	1.145	2.309	4.427	8.713	9.402	16.134	3.241
Varianz	0.072	0.300	0.640	0.025	2.403	2.350	16.139	2.777
Streuung	0.268	0.894	0.800	0.158	1.550	1.533	4.017	1.666
Mittelw. / Beta	0.004	0.021	0.042	0.080	0.158	0.170	0.325	
Tau max. = 100%	1.1 %	6.3 %	12.7 %	24.4 %	48.0 %	51.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.3 %	7.2 %	14.6 %	27.9 %	55.0 %	59.3 %	114 %	
SP/QII/L1/1/500	0.220	0.320	0.407	0.458	1.185	1.303	2.619	3.998
SP/QII/L1/2/500	-0.026	0.074	0.236	0.509	1.111	1.234	1.720	4.375
Mittelwert	0.194	0.197	0.322	0.484	1.148	1.269	2.170	4.186
Varianz	0.001	0.015	0.007	0.001	0.001	0.001	0.202	0.036
Streuung	0.026	0.123	0.086	0.026	0.037	0.035	0.450	0.189
Mittelw. / Beta	0.009	0.009	0.015	0.023	0.054	0.060	0.102	
Tau max. = 100%	8.9 %	9.1 %	14.8 %	22.3 %	52.9 %	58.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.2 %	1.2 %	2.0 %	3.1 %	7.2 %	8.0 %	13.7 %	
SP/QII/L1/5/700	0.010	0.416	1.426	2.332	3.931	3.499	3.545	1.024
SP/QII/L1/8/700	0.003	0.174	0.256	0.323	0.513	0.544	1.601	3.269
Mittelwert	0.007	0.295	0.841	1.328	1.922	2.021	2.573	2.146
Varianz	0.000	0.015	0.342	1.009	1.985	2.183	0.945	1.260
Streuung	0.004	0.121	0.585	1.005	1.409	1.478	0.972	1.123
Mittelw. / Beta	0.001	0.038	0.108	0.170	0.246	0.259	0.330	
Tau max. = 100%	0.3 %	11.5 %	32.7 %	51.6 %	74.7 %	78.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	1.9 %	5.3 %	8.4 %	12.1 %	12.8 %	16.2 %	

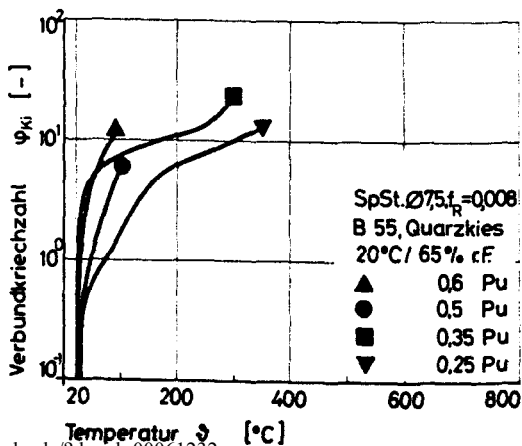
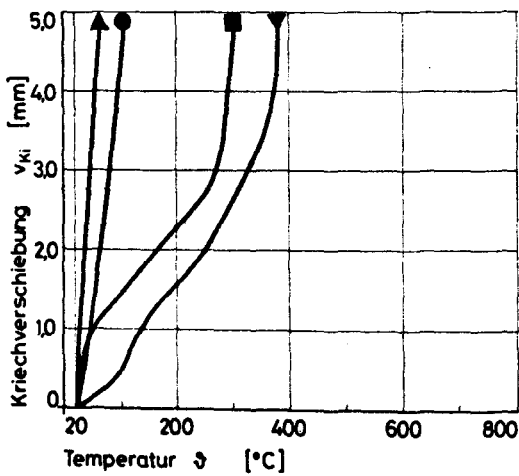
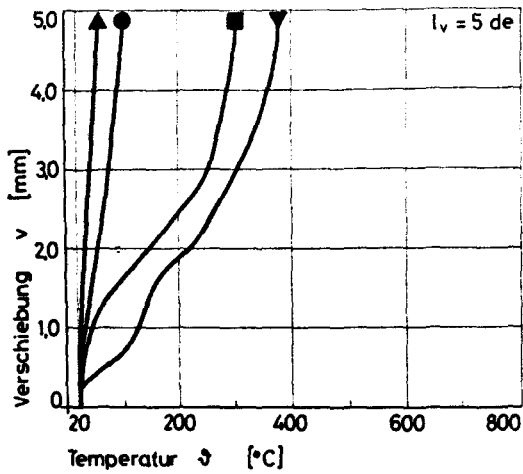
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie SP/QII/L1
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}} \right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



SP/QII/L1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	4,41	15,85	3,98	2,12
150 °C	1,71	11,03	2,72	2,08
200 °C	-	-	-	-
300 °C	1,14	16,36	2,18	6,07
400 °C	-	-	-	-
500 °C	0,22	2,17	4,19	1,81
600 °C	-	-	-	-
700 °C	0,00	2,57	2,15	1,38

2. Instationäre Kriechversuche



Sp/QII/L2

1. Zentrische Ausziehversuche

***** SP/QII/L2 *****

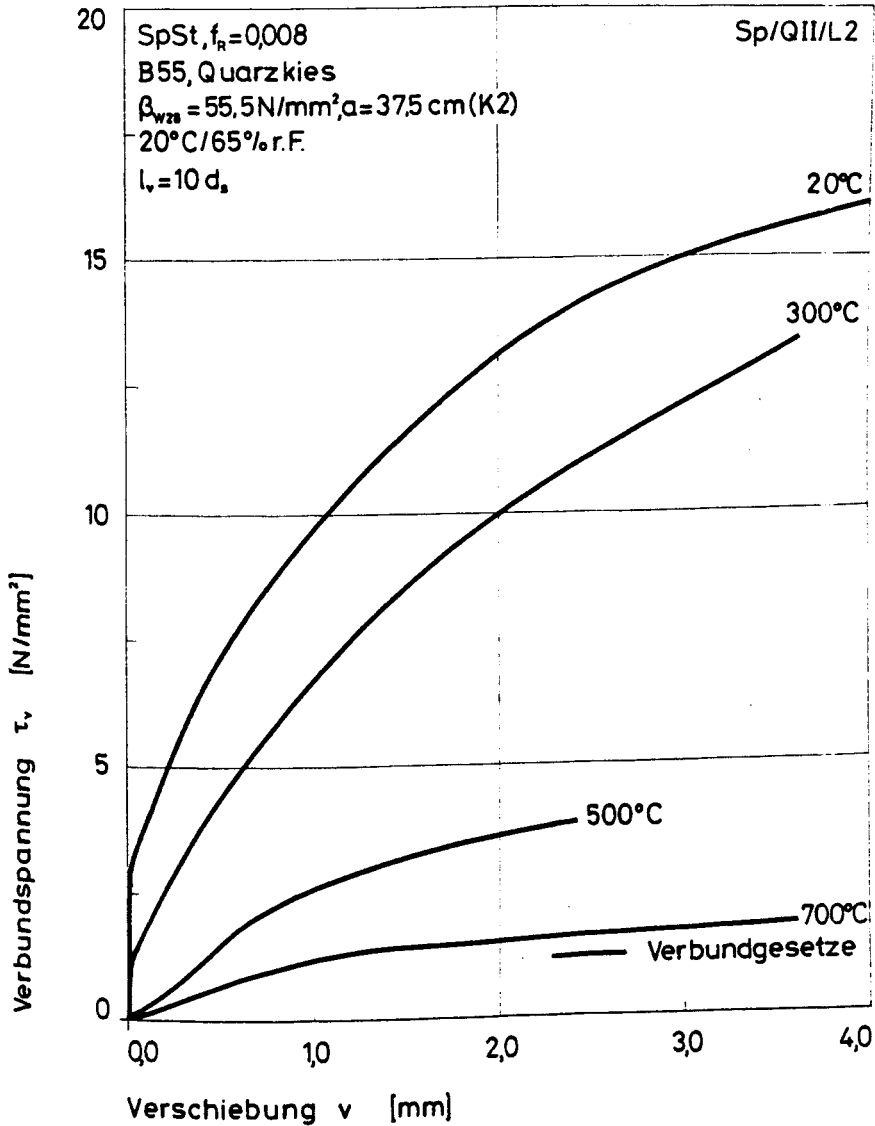
Spannstahl : 1470/1670 , $f(R)=0.008$
Stabdurchmesser : 7.5 mm
Verbundlaenge : 10 ds
Betonklasse : B55
Zuschlagsart : QUARZKIES
Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
Sieblinie : A16/B16
Koernungsziffer : 4.26
Wasser-Zement-Wert : 0.58
Ausbreitmass : 37.5 cm
Verdichtungsmass : 1.10
Beta-W,28 : 55.5 N/mm**2
Beta-W,VD : 59.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 3.59 N/mm**2

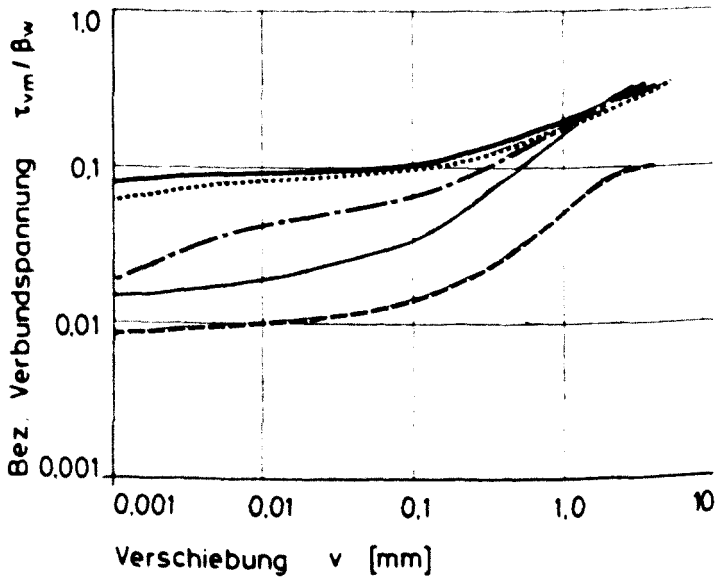
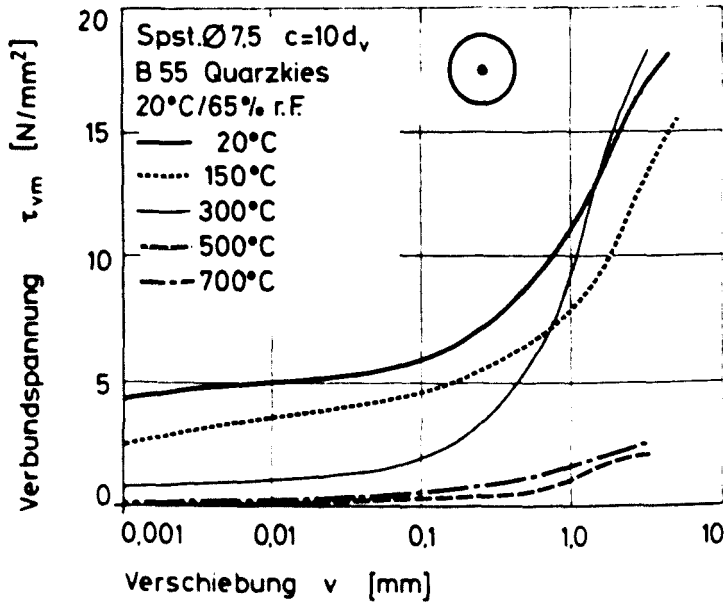
Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grd : 13,14,15,31,34,35
150 Grd :
200 Grd :
300 Grd : 19,20
400 Grd :
500 Grd : 16
600 Grd :
700 Grd : 18

(Datenfile z.B.: SP/QII/L2/13/20)

Bemerkungen : Die Versuche streuten betraechtlich.

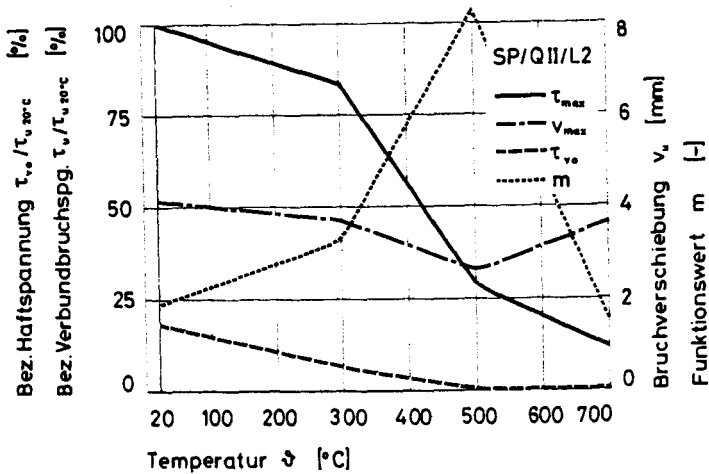




SP/QII/L2	T_0 N/mm ²	T_{001} N/mm ²	T_{01} N/mm ²	T_{02} N/mm ²	T_{03} N/mm ²	T_{04} N/mm ²	T_{05} N/mm ²	T_{06} N/mm ²	T_{07} N/mm ²	V_{max} mm
SP/QII/L2/13/20	0.003	0.534	1.102	3.581	7.118	7.519	13.272	3.411		
SP/QII/L2/14/20	0.007	2.928	3.345	4.953	7.785	8.174	17.693	5.057		
SP/QII/L2/15/20	0.002	3.145	4.380	6.449	9.637	10.036	16.682	3.608		
SP/QII/L2/31/20	0.010	3.573	4.042	5.628	9.245	9.686	15.198	4.352		
SP/QII/L2/34/20	0.003	3.743	4.884	7.423	11.463	12.002	16.926	3.737		
SP/QII/L2/35/20	0.017	0.568	4.301	6.554	10.357	10.811	17.676	4.407		
Mittelwert	0.007	2.415	3.676	5.765	9.268	9.705	16.241	4.035		
Varianz	0.000	1.808	1.536	1.548	2.160	2.289	2.456	0.320		
Streuung	0.005	1.345	1.239	1.244	1.470	1.513	1.567	0.566		
Mittelw. / Beta	0.000	0.043	0.066	0.103	0.165	0.173	0.290			
Tau max. = 100%	0.0 %	14.9 %	22.6 %	35.5 %	57.1 %	59.8 %	100.0 %			
Tau max. 20 C	0.0 %	14.7 %	22.4 %	35.1 %	56.5 %	59.2 %	99.0 %			
SP/QII/L2/19/300	1.581	1.661	2.269	3.798	6.483	6.907	14.466	3.583		
SP/QII/L2/20/300	0.565	0.763	1.220	2.796	5.494	5.888	12.595	3.811		
Mittelwert	1.073	1.212	1.745	3.297	5.989	6.403	13.531	3.697		
Varianz	0.258	0.202	0.275	0.251	0.245	0.255	0.875	0.013		
Streuung	0.508	0.449	0.525	0.501	0.485	0.505	0.936	0.114		
Mittelw. / Beta	0.013	0.022	0.032	0.060	0.108	0.116	0.245			
Tau max. = 100%	7.9 %	9.0 %	12.9 %	24.4 %	44.3 %	47.3 %	100.0 %			
Tau max. 20 C	6.6 %	7.5 %	10.7 %	20.3 %	36.9 %	39.4 %	83.3 %			
SP/QII/L2/16/500	0.003	0.203	0.312	0.831	2.410	2.509	4.621	2.599		
SP/QII/L2/17/500	-0.010	0.365	0.433	0.512	1.022	1.221	3.240	1.389		
Mittelwert	-0.007	0.284	0.373	0.672	1.716	1.865	3.930	1.994		
Varianz	0.000	0.007	0.004	0.025	0.482	0.415	0.477	0.366		
Streuung	0.010	0.081	0.061	0.160	0.694	0.644	0.691	0.605		
Mittelw. / Beta	-0.000	0.013	0.017	0.032	0.081	0.088	0.185			
Tau max. = 100%	-0.2 %	7.2 %	9.5 %	17.1 %	43.7 %	47.5 %	100.0 %			
Tau max. 20 C	-0.0 %	1.7 %	2.9 %	4.1 %	10.6 %	11.5 %	24.2 %			
SP/QII/L2/18/700	0.001	0.120	0.165	0.423	1.122	1.203	1.807	3.646		
Mittelwert	0.001	0.120	0.165	0.423	1.122	1.203	1.807	3.646		
Mittelw. / Beta	0.000	0.015	0.021	0.054	0.144	0.154	0.232			
Tau max. = 100%	0.0 %	6.6 %	9.1 %	23.4 %	62.1 %	66.5 %	100.0 %			
Tau max. 20 C	0.0 %	0.7 %	1.0 %	2.6 %	6.9 %	7.4 %	11.1 %			

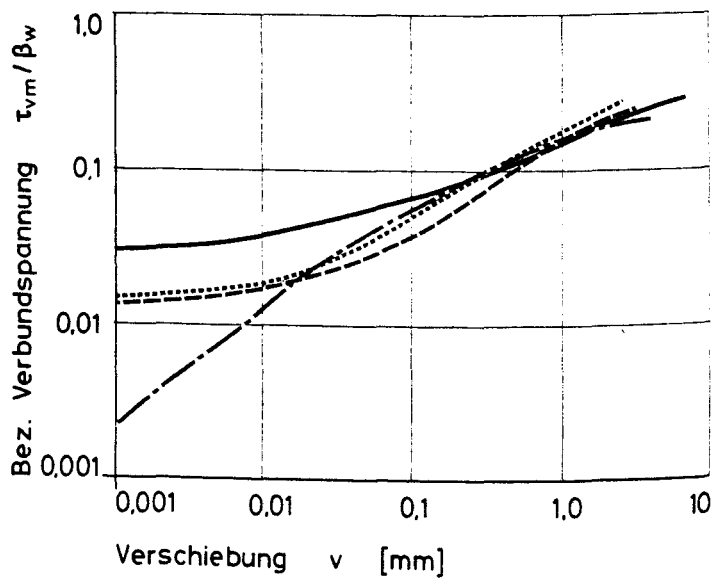
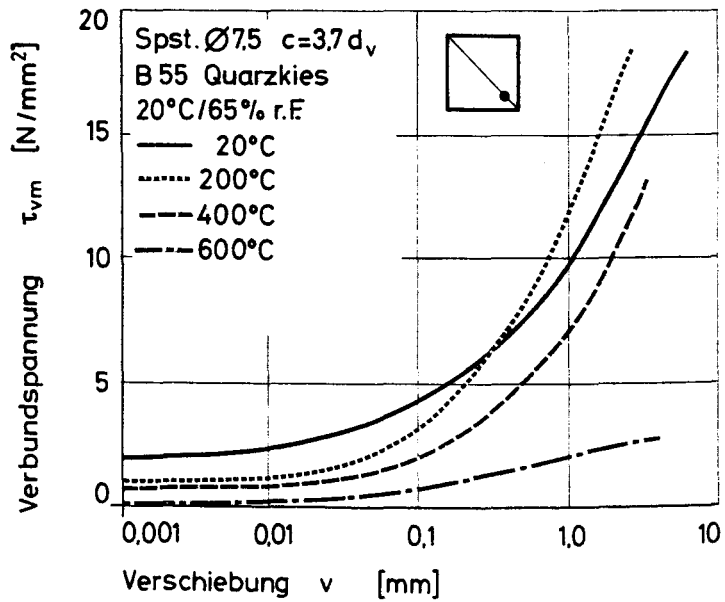
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie SP/QII/L2
für die Verbundfunktion:

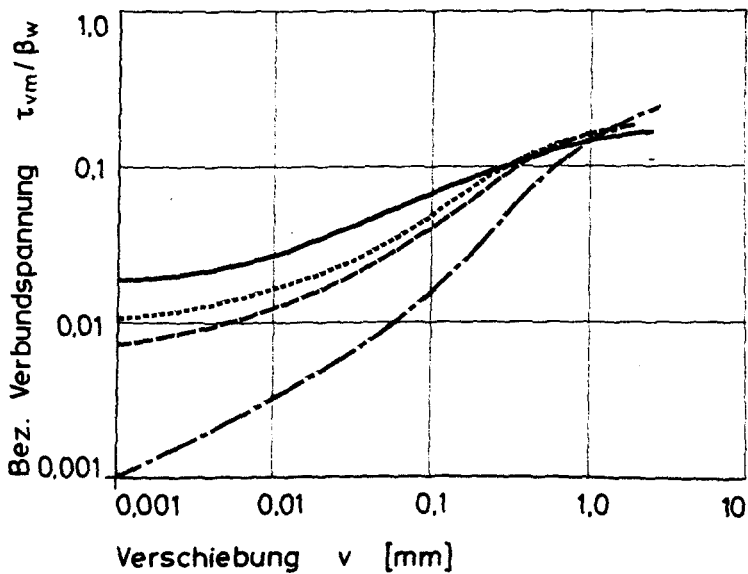
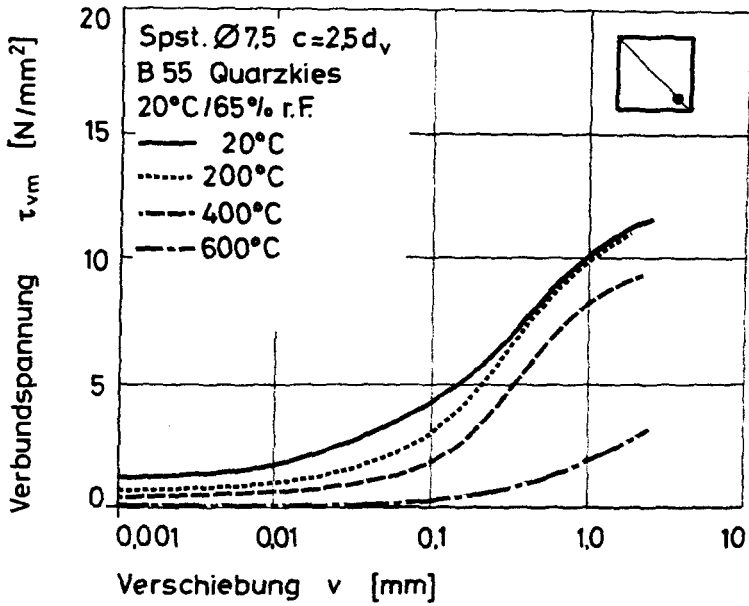
$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



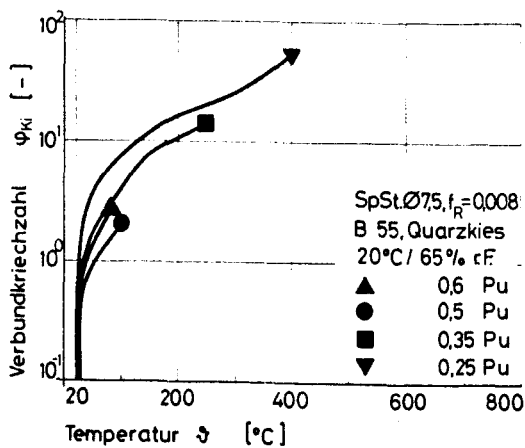
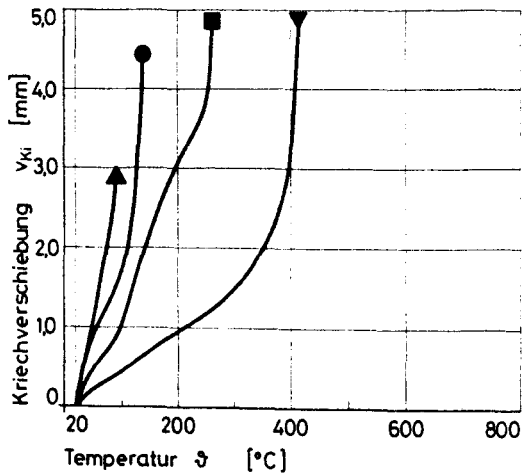
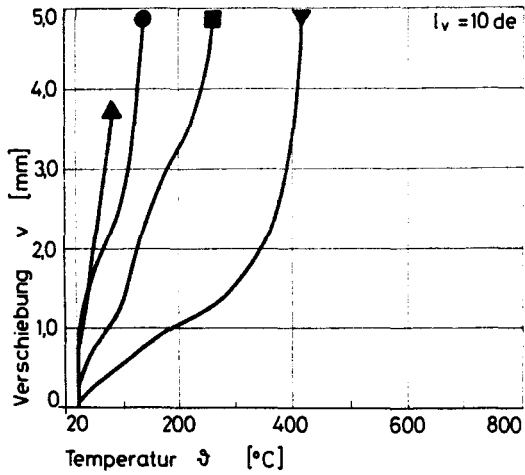
SP/QII/L2	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	2,97	16,24	4,13	1,89
150 °C	-	-	-	-
200 °C	-	-	-	-
300 °C	1,07	13,53	3,70	3,26
400 °C	-	-	-	-
500 °C	0,00	4,62	2,60	8,31
600 °C	-	-	-	-
700 °C	0,00	1,81	3,65	1,51

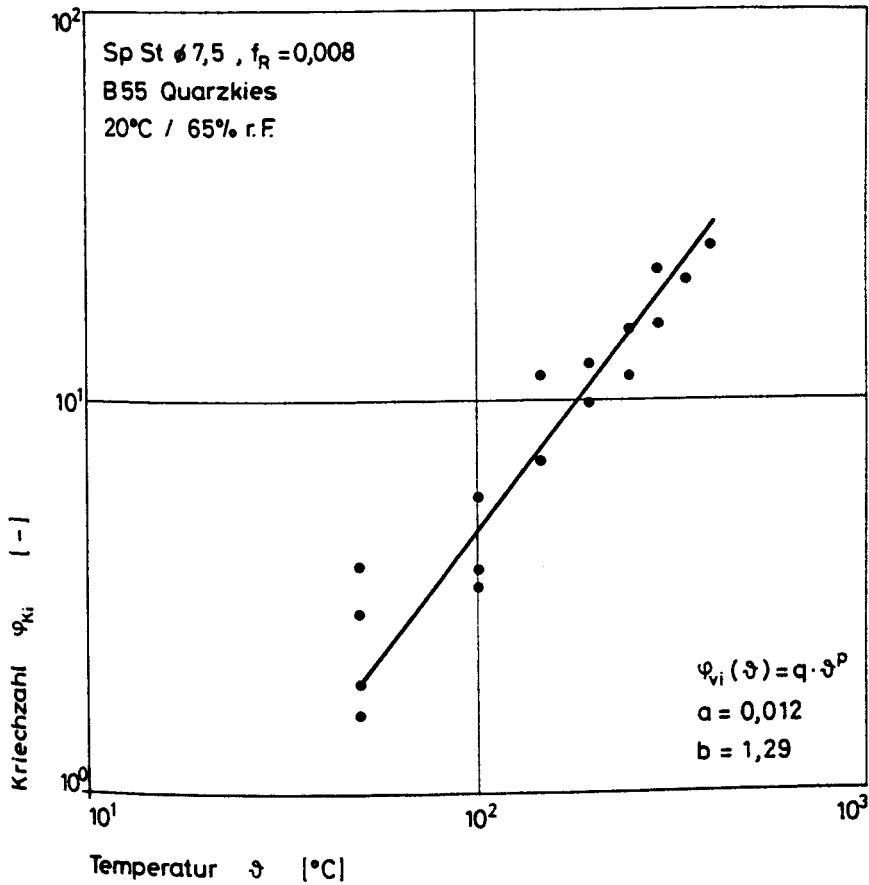
3. Exzentrische Ausziehversuche

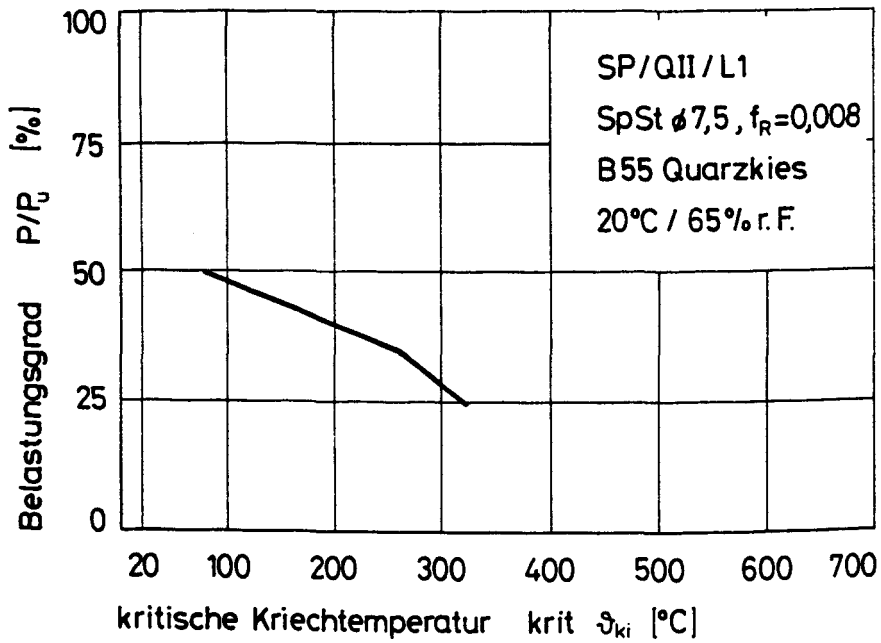




2. Instationäre Kriechversuche







Sp/KII/L2

1. Zentrische Ausziehversuche

***** SP/KII/L2 *****

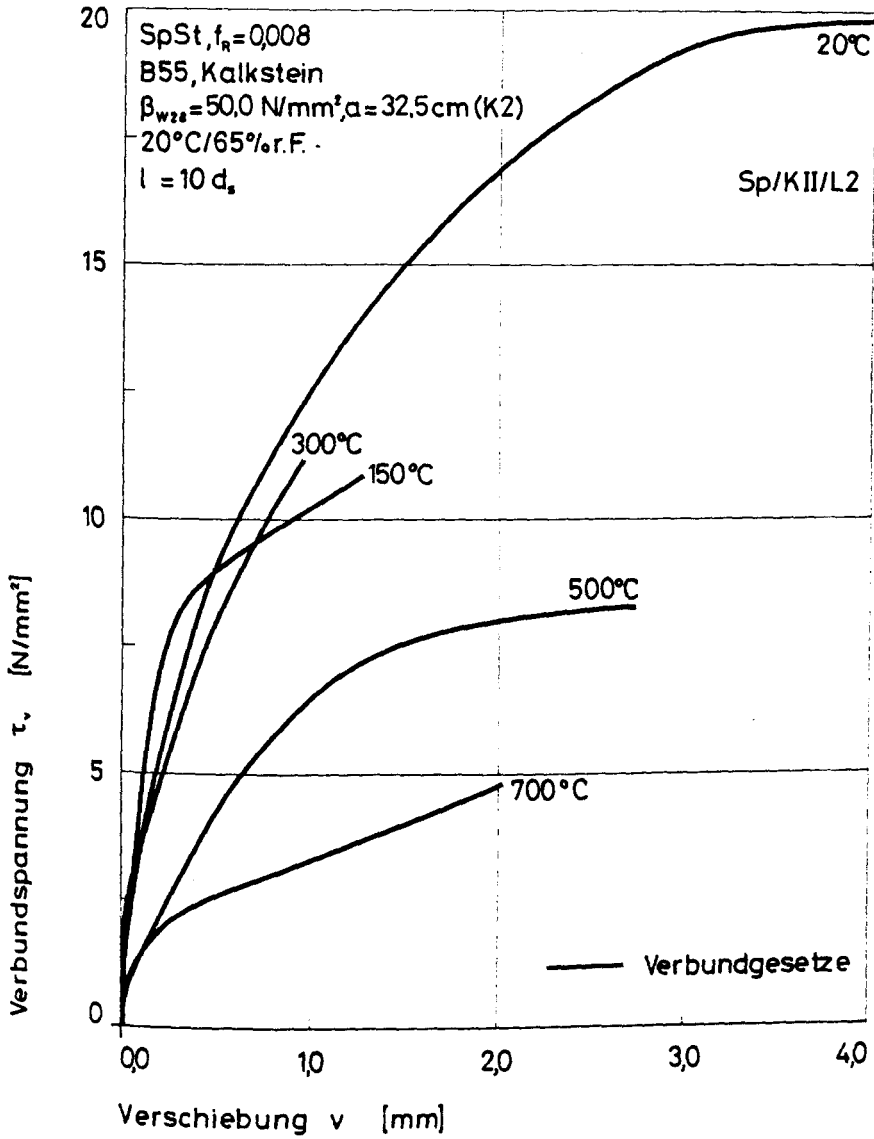
Spannstahl : 1470/1670 , $f(R)=0.008$
Stabdurchmesser : 7.5 mm
Verbundlaenge : 10 ds
Betonklasse : B55
Zuschlagsart : KALKSTEIN
Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
Sieblinie : A16/B16
Koernungsziffer : 3.94
Wasser-Zement-Wert : 0.51
Ausbreitmass : 32.5 cm
Verdichtungsmass : 1.16
Beta-W,28 : 50.0 N/mm**2
Beta-W,VD : 54.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 3.20 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grd : 17,19,20
150 Grd : 5,7
200 Grd :
300 Grd : 4,8
400 Grd :
500 Grd : 14,16
600 Grd :
700 Grd : 12

(Datenfile z.B.: SP/KII/L2/14/500)

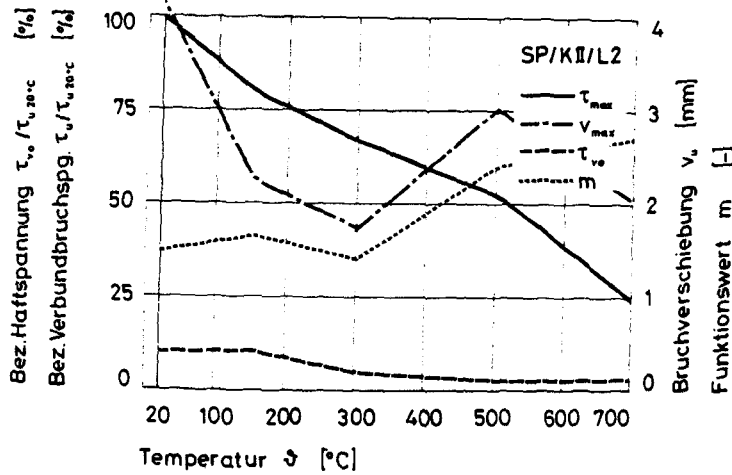
Bemerkungen : Die Versuche streuten betraechtlich. Bei allen Temperaturen traten sprunghafte Stabendverschiebungen und schlagartige Entlastungen auf. Eine sinnvolle Auswertung ueber die dargestellten Werte hinaus war nicht moeglich.



SP/KII/L2	τ_0 N/mm ²	τ_{001} N/mm ²	τ_{01} N/mm ²	τ_{03} N/mm ²	τ_{05} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
SP/KII/L2/17/20	1.601	1.902	3.097	6.339	11.670	12.361	19.893	3.994
SP/KII/L2/19/20	1.768	3.018	3.984	6.179	10.722	11.328	17.978	4.208
SP/KII/L2/20/20	2.670	3.037	4.248	7.995	13.149	13.747	21.583	4.273
Mittelwert	2.013	2.652	3.776	6.838	11.847	12.479	19.818	4.158
Varianz	0.220	0.282	0.242	0.674	0.997	0.982	2.169	0.014
Streuung	0.470	0.531	0.492	0.821	0.999	0.991	1.473	0.119
Mittelw. / Beta	0.040	0.053	0.075	0.136	0.235	0.248	0.393	
Tau max. = 100%	10.2 %	13.4 %	19.1 %	34.5 %	59.8 %	63.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	10.1 %	13.2 %	18.9 %	34.2 %	59.2 %	62.3 %	99.0 %	
SP/KII/L2/5/150	0.639	2.675	3.133	5.487	12.869	13.058	16.463	1.650
SP/KII/L2/7/150	3.596	4.284	4.678	6.092	8.885	9.293	15.253	2.866
Mittelwert	2.118	3.479	3.905	5.789	10.877	11.176	15.858	2.258
Varianz	2.186	0.647	0.597	0.092	3.968	3.544	0.366	0.370
Streuung	1.479	0.805	0.773	0.303	1.992	1.883	0.605	0.608
Mittelw. / Beta	0.047	0.077	0.087	0.128	0.241	0.248	0.352	
Tau max. = 100%	13.4 %	21.9 %	24.6 %	36.5 %	68.6 %	70.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	10.7 %	17.6 %	19.7 %	29.2 %	54.9 %	56.4 %	80.0 %	
SP/KII/L2/4/300	0.525	3.783	4.864	8.758	9.228	9.270	11.770	1.296
SP/KII/L2/8/300	1.270	4.752	5.833	7.860	10.530	10.909	14.856	2.206
Mittelwert	0.897	4.267	5.349	8.309	9.879	10.090	13.313	1.751
Varianz	0.139	0.235	0.235	0.262	0.424	0.672	2.381	0.207
Streuung	0.373	0.485	0.485	0.449	0.651	0.820	1.543	0.455
Mittelw. / Beta	0.016	0.077	0.097	0.150	0.178	0.152	0.240	
Tau max. = 100%	6.7 %	32.1 %	40.2 %	62.4 %	74.2 %	75.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	4.5 %	21.5 %	27.0 %	41.9 %	49.8 %	50.3 %	67.2 %	
SP/KII/L2/14/500	0.237	0.757	1.154	2.410	6.262	7.015	10.141	2.744
SP/KII/L2/16/500	0.737	1.192	3.089	3.148	6.384	6.721	10.625	3.292
Mittelwert	0.487	0.975	2.122	2.779	6.323	6.868	10.383	3.018
Varianz	0.063	0.047	0.936	0.136	0.004	0.022	0.059	0.075
Streuung	0.250	0.218	0.968	0.369	0.061	0.147	0.242	0.274
Mittelw. / Beta	0.011	0.021	0.046	0.061	0.138	0.150	0.227	
Tau max. = 100%	4.7 %	9.4 %	20.4 %	26.8 %	60.9 %	66.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.5 %	4.9 %	10.7 %	14.0 %	31.9 %	34.7 %	52.4 %	
SP/KII/L2/12/700	0.510	0.624	1.305	2.326	3.145	3.266	4.805	2.048
Mittelwert	0.510	0.624	1.305	2.326	3.145	3.266	4.805	2.048
Mittelw. / Beta	0.022	0.027	0.057	0.102	0.139	0.144	0.212	
Tau max. = 100%	10.6 %	13.0 %	27.2 %	48.4 %	65.5 %	68.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.6 %	3.1 %	6.6 %	11.7 %	15.9 %	16.5 %	24.2 %	

Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie SP/KII/L2
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}} \right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



SP/KII/L2	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	2,01	19,82	4,16	1,49
150 °C	2,12	15,86	2,26	1,65
200 °C	-	-	-	-
300 °C	0,90	13,31	1,75	1,40
400 °C	-	-	-	-
500 °C	0,49	10,38	3,02	2,40
600 °C	-	-	-	-
700 °C	0,51	4,81	2,05	2,72

Li/Q II/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

***** LI/QII/S1 *****

Spannstahl : LITZE , $f(R)=0.003$
 Stabdurchmesser : 12.5 mm
 Verbundlaenge : 5 ds
 Betonklasse : B55
 Zuschlagsart : QUARZKIES
 Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
 Sieblinie : A16/B16
 Koernungsziffer : 3.85
 Wasser-Zement-Wert : 0.54
 Ausbreitmass : 39.0 cm
 Verdichtungsmass : 1.12
 Beta-W,28 : 59.0 N/mm**2
 Beta-W,VD : 66.0 N/mm**2
 Beta-SZ,VD : 3.26 N/mm**2

Ausziehversuche :

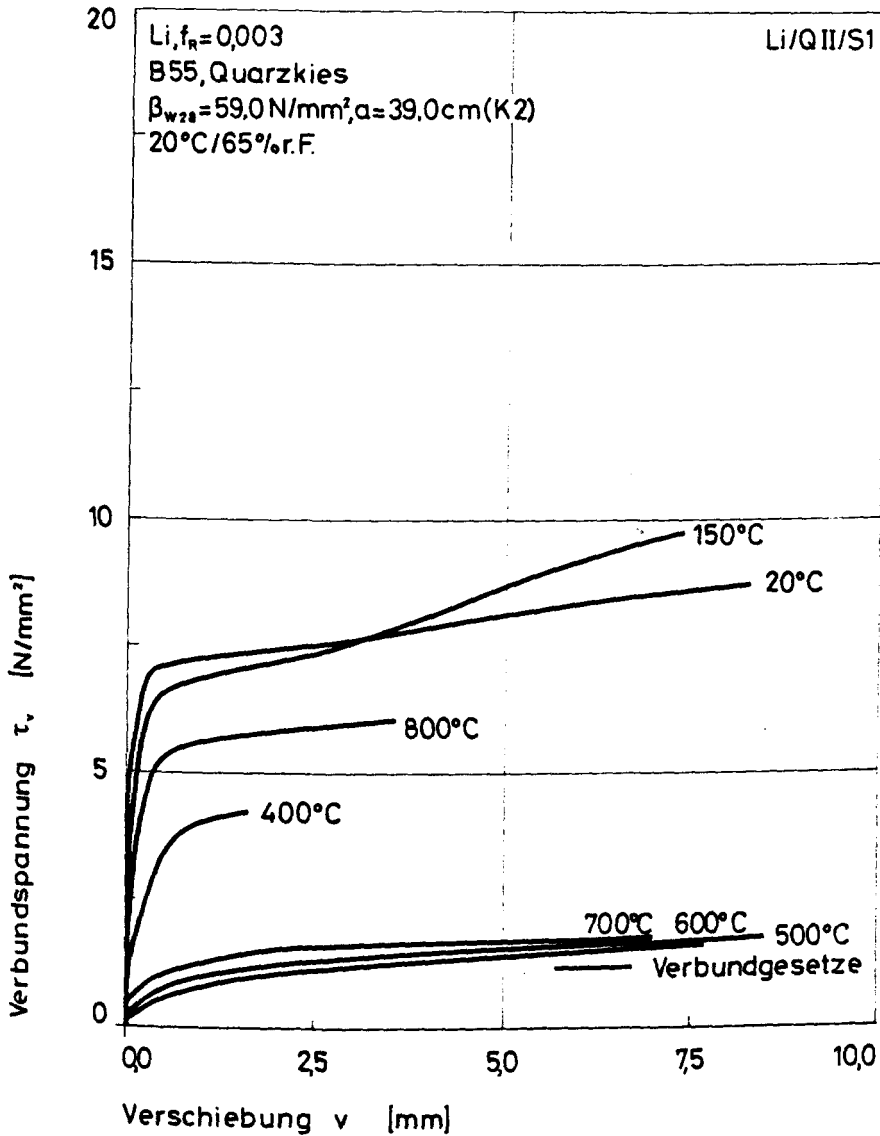
Temperatur	Nummer	Anzahl
20 GRD	: 1,6,10,12,14,17	6
150 Grd	: 12,13,17	3
200 Grd	:	-
300 Grd	: 1,15,16	3
400 Grd	: 4,9,11	3
500 Grd	: 2,3,19	3
600 Grd	: 5,8,20	3
700 Grd	: 7,18	2

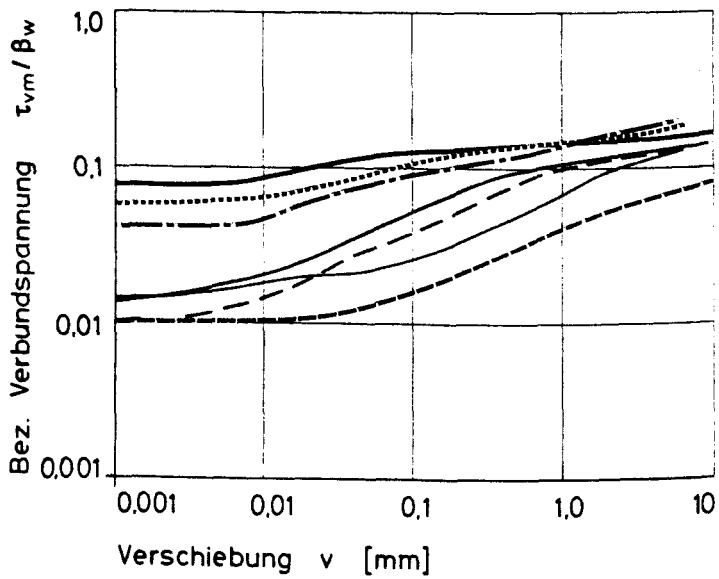
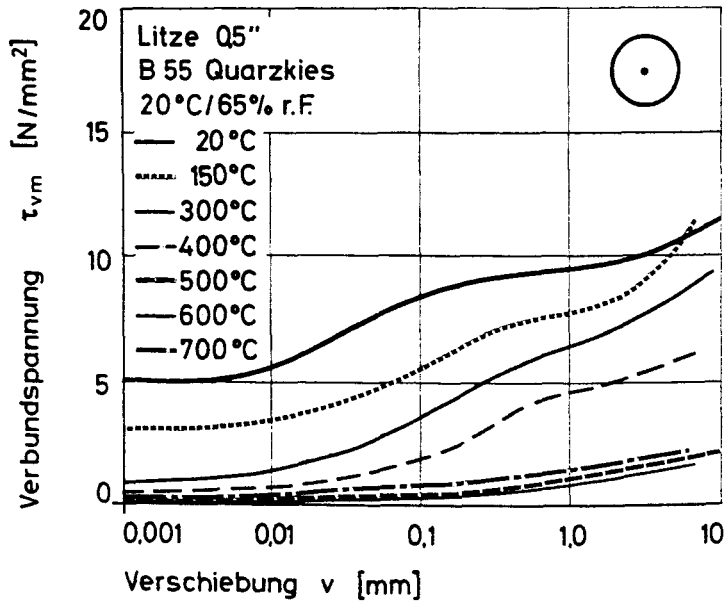
Inst. Kriechversuche :

Belastungsgrad	Anzahl
0.10 P/P(20) :	1
0.20 P/P(20) :	1
0.40 P/P(20) :	5
0.75 P/P(20) :	4

(Datenfile z.B.: LI/QII/S1/17/20)

Bemerkungen : Nahezu alle Versuche zeigen ein bilineares
 Last-Verschiebungsverhalten.

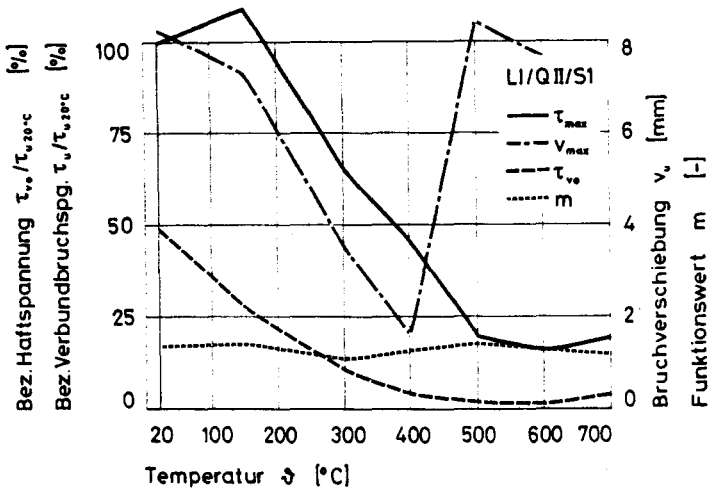




LI/QII/S1	T_0 N/mm ²	T_{q01} N/mm ²	T_{q1} N/mm ²	T_{q3} N/mm ²	T_{q5} N/mm ²	T_{q7} N/mm ²	T_u N/mm ²	v_{max} mm
LI/QII/S1/1/20	6.001	6.797	6.847	6.905	7.032	7.048	9.575	9.459
LI/QII/S1/12/20	0.000	0.827	4.044	4.610	4.922	4.939	8.514	9.984
LI/QII/S1/17/20	0.000	5.126	6.227	6.544	6.720	6.740	6.870	1.443
LI/QII/S1/6/20	0.002	5.651	7.895	8.734	8.747	8.746	9.891	9.314
LI/QII/S1/10/20	-0.002	4.941	7.183	7.812	8.094	8.121	10.038	9.627
LI/QII/S1/14/20	-0.004	5.488	6.861	7.379	7.824	7.851	9.693	9.743
Mittelwert	2.999	4.805	6.509	6.997	7.223	7.240	9.097	8.262
Varianz	8.997	3.516	1.462	1.629	1.504	1.504	1.233	9.343
Streuung	3.000	1.875	1.209	1.274	1.227	1.227	1.110	3.057
Mittelw. / Beta	0.054	0.086	0.116	0.125	0.129	0.129	0.162	
Tau max. = 100%	33.0 %	52.8 %	71.6 %	76.9 %	79.4 %	79.6 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	32.6 %	52.3 %	70.8 %	76.2 %	78.6 %	78.8 %	99.0 %	
LI/QII/S1/12/150	2.382	2.751	4.384	6.303	7.057	7.084	9.320	7.577
LI/QII/S1/13/150	3.183	4.467	5.426	5.700	5.939	5.943	7.875	5.106
LI/QII/S1/17/150	1.811	3.455	5.075	6.638	7.449	7.465	12.638	9.325
Mittelwert	2.459	3.558	4.962	6.219	6.819	6.831	9.944	7.336
Varianz	0.317	0.496	0.167	0.151	0.413	0.418	3.976	2.996
Streuung	0.563	0.704	0.433	0.388	0.643	0.647	1.994	1.731
Mittelw. / Beta	0.055	0.079	0.111	0.139	0.152	0.152	0.222	
Tau max. = 100%	24.7 %	35.8 %	49.9 %	62.5 %	68.5 %	68.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	27.0 %	39.1 %	54.5 %	68.3 %	74.9 %	75.1 %	109 %	
LI/QII/S1/1/300	0.721	1.049	2.239	4.155	5.335	5.416	6.008	3.305
LI/QII/S1/15/300	1.230	1.495	3.608	5.562	6.146	6.180	6.282	1.402
LI/QII/S1/16/300	0.809	1.137	2.835	4.669	5.151	5.148	5.586	5.857
Mittelwert	0.920	1.227	2.894	4.795	5.544	5.581	5.959	3.521
Varianz	0.049	0.037	0.314	0.338	0.187	0.191	0.082	3.331
Streuung	0.222	0.193	0.560	0.581	0.432	0.437	0.286	1.825
Mittelw. / Beta	0.017	0.022	0.052	0.087	0.100	0.101	0.108	
Tau max. = 100%	15.4 %	20.6 %	48.6 %	80.5 %	93.0 %	93.7 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	10.1 %	13.5 %	31.8 %	52.7 %	60.9 %	61.4 %	65.5 %	
LI/QII/S1/4/400	0.006	0.411	1.034	1.741	3.202	3.253	3.734	2.022
LI/QII/S1/9/400	-0.002	0.413	1.455	2.673	4.293	4.335	4.425	1.488
LI/QII/S1/11/400	0.004	0.795	2.161	3.496	4.462	4.507	4.598	1.326
Mittelwert	0.004	0.540	1.550	2.636	3.986	4.032	4.272	1.612
Varianz	0.000	0.033	0.216	0.514	0.312	0.308	0.119	0.088
Streuung	0.001	0.181	0.465	0.717	0.558	0.555	0.346	0.297
Mittelw. / Beta	0.000	0.014	0.040	0.067	0.102	0.103	0.109	
Tau max. = 100%	0.1 %	12.6 %	36.3 %	61.7 %	93.3 %	94.4 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	0.0 %	5.9 %	17.0 %	29.0 %	43.8 %	44.3 %	47.0 %	
LI/QII/S1/2/500	0.207	0.212	0.290	0.502	0.949	0.982	1.517	6.500
LI/QII/S1/3/500	0.222	0.254	0.330	0.406	0.509	0.531	1.300	9.436
LI/QII/S1/19/500	0.132	0.152	0.361	0.729	1.334	1.344	2.593	9.510
Mittelwert	0.187	0.206	0.327	0.546	0.929	0.952	1.803	8.482
Varianz	0.002	0.002	0.001	0.018	0.115	0.111	0.320	1.965
Streuung	0.039	0.042	0.029	0.135	0.340	0.339	0.565	1.402
Mittelw. / Beta	0.009	0.010	0.015	0.026	0.044	0.045	0.085	
Tau max. = 100%	10.4 %	11.4 %	18.1 %	30.3 %	51.5 %	52.8 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	2.1 %	2.3 %	3.6 %	6.0 %	10.2 %	10.5 %	19.8 %	
LI/QII/S1/5/600	0.061	0.065	0.092	0.199	0.368	0.396	1.276	14.836
LI/QII/S1/8/600	0.034	0.054	0.163	0.298	0.558	0.618	1.169	4.902
LI/QII/S1/20/600	0.205	0.363	0.559	0.836	1.120	1.186	1.745	3.355
Mittelwert	0.100	0.161	0.271	0.444	0.682	0.733	1.396	7.698
Varianz	0.006	0.020	0.042	0.078	0.102	0.111	0.063	25.877
Streuung	0.075	0.143	0.205	0.280	0.319	0.339	0.250	5.087
Mittelw. / Beta	0.010	0.016	0.027	0.044	0.068	0.073	0.138	
Tau max. = 100%	7.2 %	11.5 %	19.4 %	31.8 %	48.9 %	52.5 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	1.1 %	1.8 %	3.0 %	4.9 %	7.5 %	8.1 %	15.4 %	
LI/QII/S1/7/700	0.409	0.504	0.712	0.835	1.151	1.181	1.668	6.233
LI/QII/S1/18/700	0.273	0.478	0.723	0.898	1.196	1.231	1.877	7.729
Mittelwert	0.341	0.491	0.718	0.867	1.173	1.206	1.773	6.981
Varianz	0.005	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.011	0.560
Streuung	0.068	0.013	0.006	0.032	0.023	0.025	0.103	0.748
Mittelw. / Beta	0.044	0.063	0.092	0.111	0.150	0.155	0.227	
Tau max. = 100%	19.2 %	27.7 %	40.5 %	48.9 %	66.2 %	68.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	3.7 %	5.4 %	7.9 %	9.5 %	12.9 %	13.9 %	19.5 %	

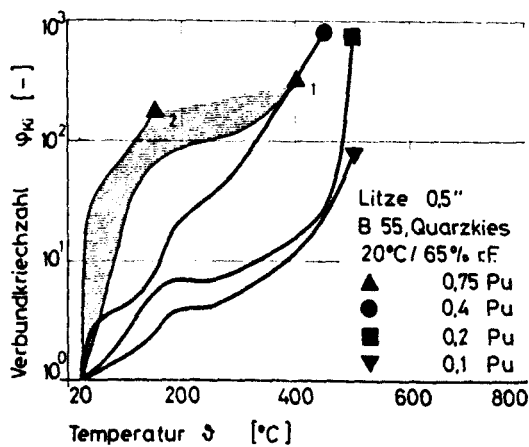
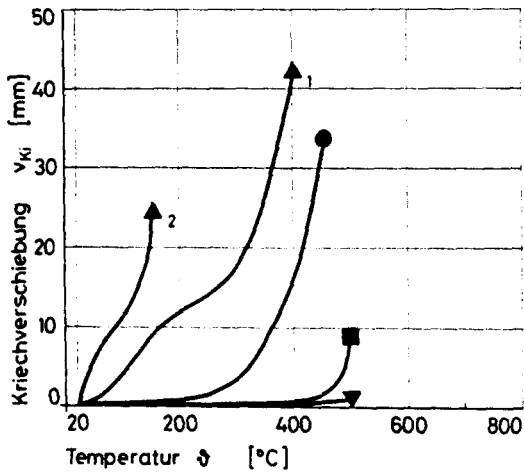
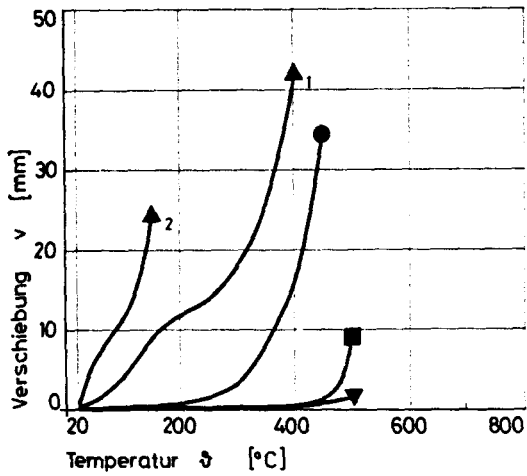
Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie LI/QII/S1
für die Verbundfunktion:

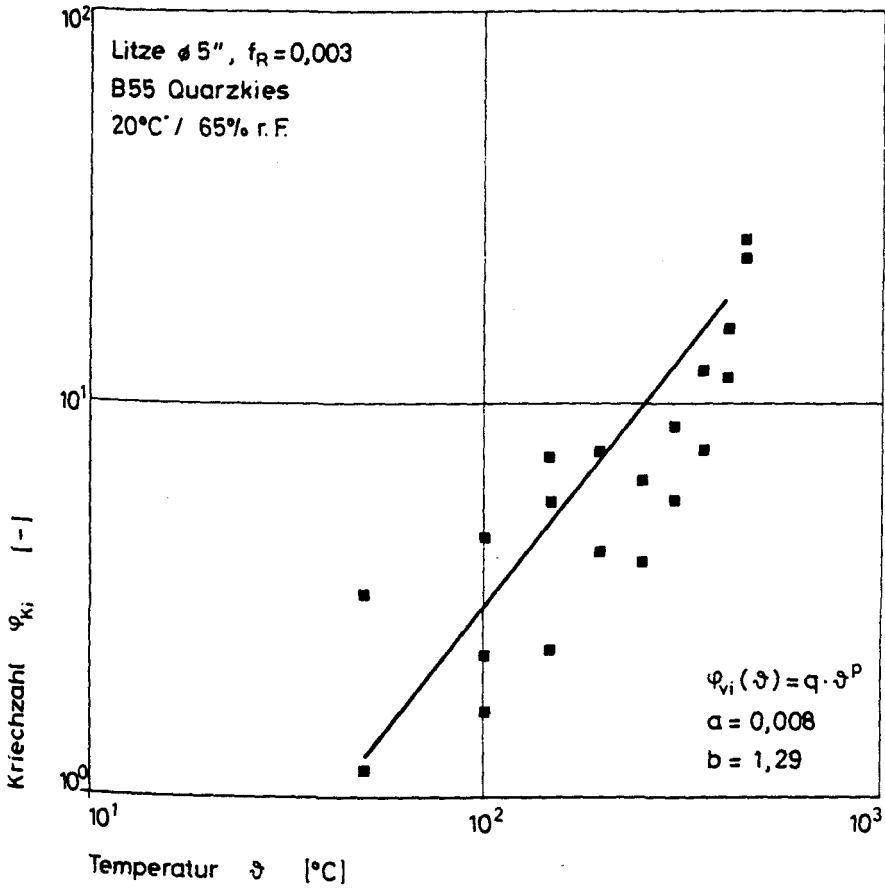
$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$

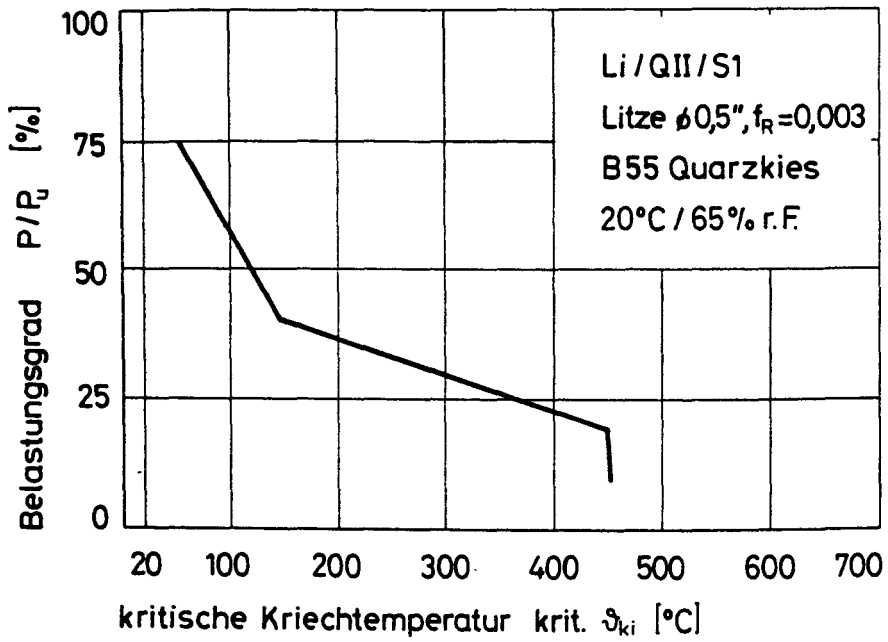


LI/QII/S1	τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
	N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C	4,49	9,10	8,26	1,35
150 °C	2,46	9,94	7,34	1,42
200 °C	-	-	-	-
300 °C	0,92	5,96	3,52	1,04
400 °C	0,34	4,27	1,61	1,29
500 °C	0,19	1,80	8,48	1,46
600 °C	0,10	1,40	7,70	1,28
700 °C	0,34	1,77	6,98	1,18

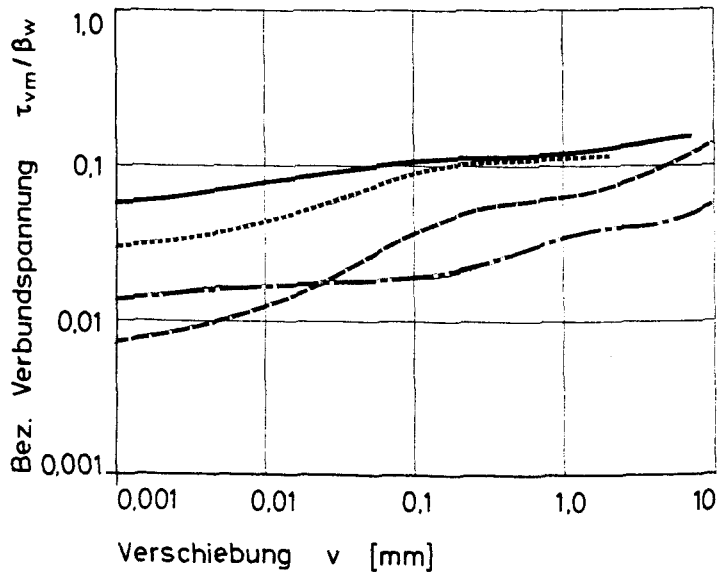
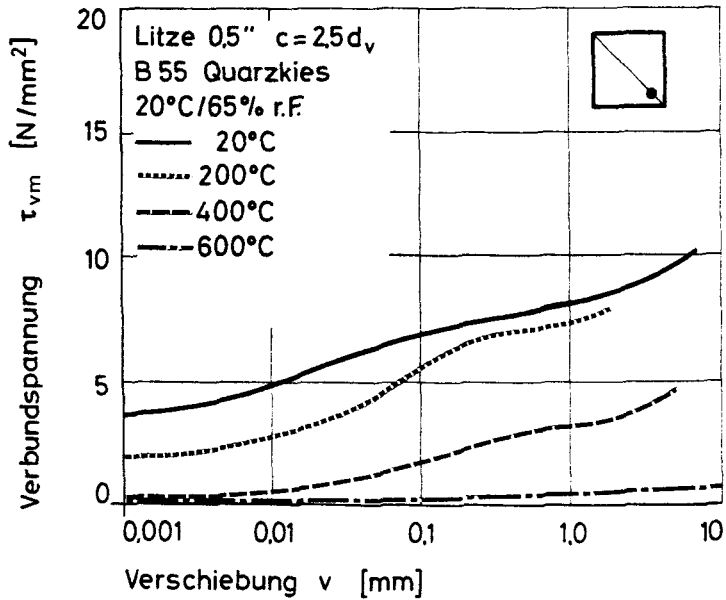
2. Instationäre Kriechversuche







3. Exzentrische Ausziehversuche



Li/KII/S1

1. Zentrische Ausziehversuche

***** LI/KII/S1 *****

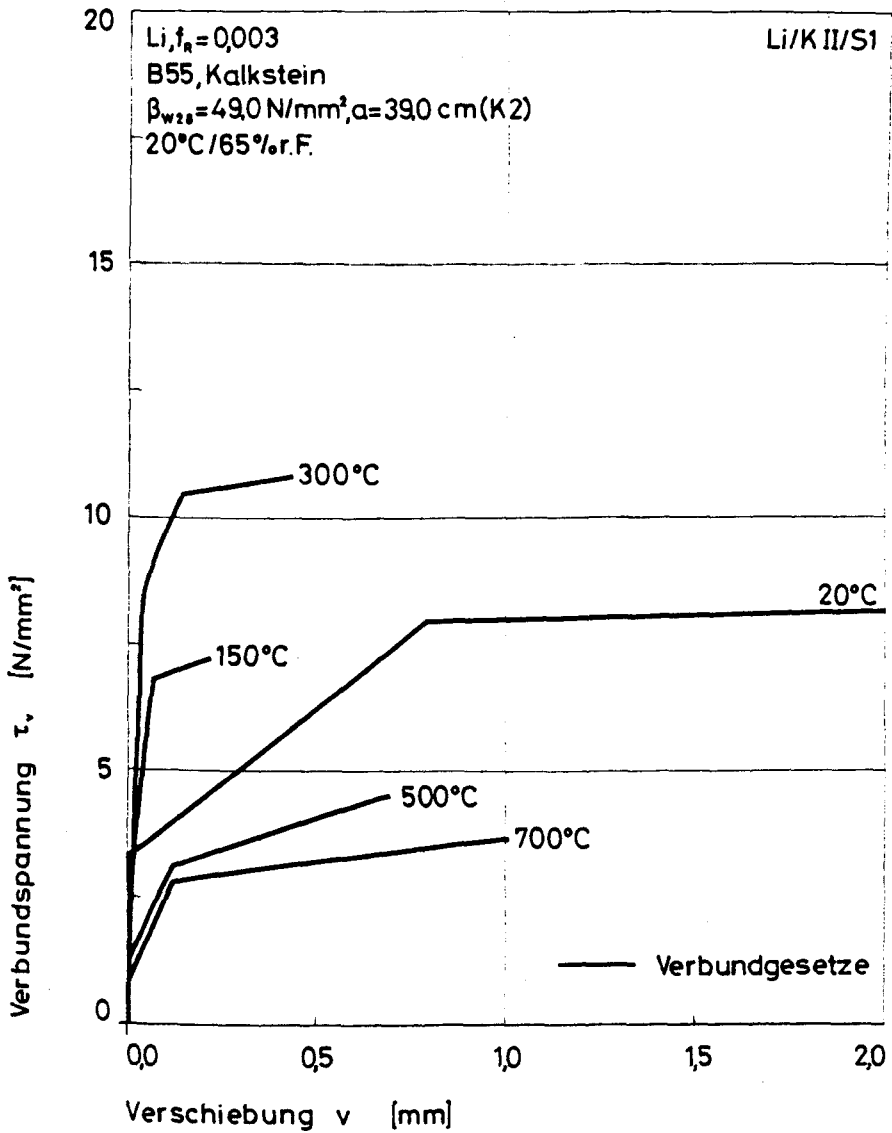
Spannstahl : LITZE , $f(R)=0.003$
Stabdurchmesser : 12.5 mm
Verbundlaenge : 5 ds
Betonklasse : B55
Zuschlagsart : KALKSTEIN
Lagerungsart : 20 Grd, 65%r.F.
Sieblinie : A16/B16
Koernungsziffer : 3.94
Wasser-Zement-Wert : 0.59
Ausbreitmass : 39.0 cm
Verdichtungsmass : 1.07
Beta-W,28 : 49.0 N/mm**2
Beta-W,VD : 51.0 N/mm**2
Beta-SZ,VD : 2.99 N/mm**2

Verwendete Versuchskoerper (Nummer) :

20 Grd : 14,19,20
150 Grd : 16,17
200 Grd :
300 Grd : 2,13
400 Grd :
500 Grd : 3,4
600 Grd :
700 Grd : 7,8

(Datenfile z.B.: LI/KII/S1/17/150)

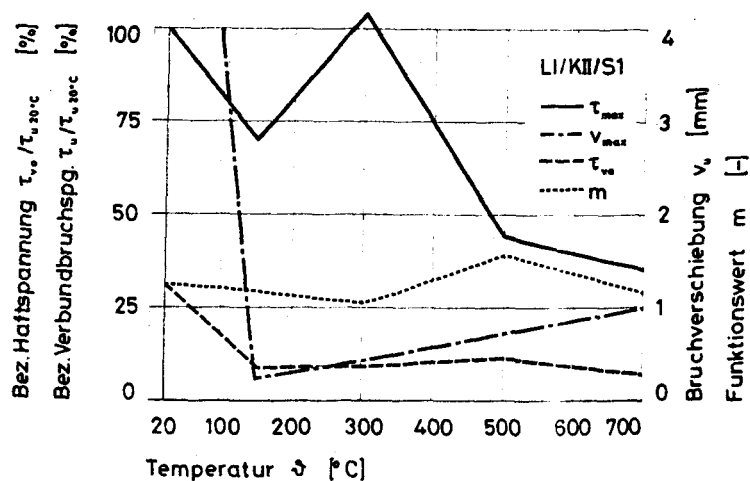
Bemerkungen : Nahezu alle Versuche zeigen ein bilineares Last-Verschiebungsverhalten.



LI/KII/S1	τ_0 N/mm ²	τ_{q1} N/mm ²	τ_{q2} N/mm ²	τ_{q3} N/mm ²	τ_{q5} N/mm ²	τ_{10} N/mm ²	τ_u N/mm ²	v_{max} mm
LI/KII/S1/14/20	3.048	4.033	5.723	6.582	6.692	6.694	9.200	8.769
LI/KII/S1/19/20	3.850	5.160	7.560	8.807	9.112	9.116	9.732	7.826
LI/KII/S1/20/20	2.906	3.972	5.913	7.834	8.098	8.116	12.519	9.920
Mittelwert	3.268	4.389	6.399	7.741	7.967	7.975	10.484	8.838
Varianz	0.173	0.298	0.680	0.829	0.985	0.988	2.118	0.733
Streuung	0.416	0.546	0.825	0.911	0.992	0.994	1.455	0.856
Mittelw. / Beta	0.065	0.087	0.127	0.154	0.158	0.158	0.208	
Tau max. = 100%	31.2 %	41.9 %	61.0 %	73.8 %	76.0 %	76.1 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	30.9 %	41.5 %	60.4 %	73.1 %	75.2 %	75.3 %	99.0 %	
LI/KII/S1/16/150	0.145	1.459	8.129	0.000	0.000	0.000	8.997	0.316
LI/KII/S1/17/150	1.821	4.862	5.651	0.000	0.000	0.000	5.658	0.116
Mittelwert	0.983	3.161	6.890	0.000	0.000	0.000	7.328	0.216
Varianz	0.702	2.895	1.535	0.000	0.000	0.000	2.787	0.010
Streuung	0.838	1.702	1.239	0.000	0.000	0.000	1.670	0.100
Mittelw. / Beta	0.022	0.070	0.153	0.000	0.000	0.000	0.162	
Tau max. = 100%	13.4 %	43.1 %	94.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	9.4 %	30.1 %	65.7 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	69.9 %	
LI/KII/S1/2/300	1.886	6.393	8.571	9.248	0.000	0.000	9.266	0.200
LI/KII/S1/13/300	0.083	6.983	10.936	12.391	0.000	0.000	12.537	0.508
Mittelwert	0.985	6.688	9.754	10.820	0.000	0.000	10.902	0.354
Varianz	0.813	0.087	1.398	2.470	0.000	0.000	2.675	0.024
Streuung	0.902	0.295	1.183	1.572	0.000	0.000	1.636	0.154
Mittelw. / Beta	0.018	0.121	0.176	0.195	0.000	0.000	0.197	
Tau max. = 100%	3.0 %	51.4 %	85.5 %	95.3 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	9.4 %	63.8 %	93.0 %	103 %	0.0 %	0.0 %	104 %	
LI/KII/S1/3/500	0.802	1.041	1.663	2.387	3.496	0.000	3.616	0.988
LI/KII/S1/4/500	1.526	1.742	3.527	5.290	0.000	0.000	5.647	0.434
Mittelwert	1.164	1.391	2.595	3.839	3.496	0.000	4.632	0.711
Varianz	0.131	0.123	0.869	2.107	0.000	0.000	1.031	0.077
Streuung	0.362	0.351	0.932	1.432	0.000	0.000	1.016	0.277
Mittelw. / Beta	0.025	0.030	0.057	0.084	0.076	0.000	0.101	
Tau max. = 100%	25.1 %	30.0 %	56.0 %	82.9 %	75.5 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	11.1 %	19.3 %	24.8 %	36.6 %	33.3 %	0.0 %	44.2 %	
LI/KII/S1/7/700	0.779	1.268	2.066	2.768	3.237	0.000	3.296	1.008
LI/KII/S1/8/700	0.679	1.934	2.514	3.559	4.041	0.000	4.052	0.990
Mittelwert	0.729	1.301	2.290	3.163	3.639	0.000	3.674	0.999
Varianz	0.003	0.001	0.050	0.156	0.162	0.000	0.143	0.000
Streuung	0.050	0.033	0.224	0.396	0.402	0.000	0.378	0.009
Mittelw. / Beta	0.032	0.037	0.101	0.139	0.160	0.000	0.162	
Tau max. = 100%	19.8 %	35.4 %	62.3 %	86.1 %	99.0 %	0.0 %	100.0 %	
Tau max. 20 C	7.0 %	12.4 %	21.8 %	30.2 %	34.7 %	0.0 %	95.0 %	

Temperaturabhängige Werte der Verbundparameter
der Serie LI/KII/S1
für die Verbundfunktion:

$$\tau_v = \tau_m \left(\frac{\tau_{vo}}{\tau_m} + \frac{m \cdot \frac{v}{v_{max}}}{(m-1) + \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^m} \right); \tau_m = \tau_{max} - \tau_{vo}$$



LI/K I/S1		τ_{vo}	τ_{max}	v_{max}	m
		N/mm ²	N/mm ²	mm	-
20 °C		3,27	10,48	8,84	1,21
150 °C		0,98	7,33	0,22	1,18
200 °C		-	-	-	-
300 °C		0,99	10,87	0,43	1,04
400 °C		-	-	-	-
500 °C		1,16	4,63	0,71	1,56
600 °C		-	-	-	-
700 °C		0,73	3,67	1,00	1,16

Untersuchungen der Verbundzone an Spezialproben mit dem REM
(Raster-Elektronen-Mikroskop)

Für die Untersuchungen der Verbundzone während einer Temperaturerhöhung stand uns im Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz ein Rasterelektronenmikroskop mit einem Heiztisch zur Verfügung. Der Heiztisch war jedoch nicht für diese Untersuchungen vorgesehen, so daß sich einige Probleme bei der Wärmeübertragung in die Probe im Vakuum ergaben. Trotz dieser Schwierigkeiten und der damit verbundenen Unsicherheiten über die Temperaturzuordnung sollen im folgenden vier Bildserien dargestellt werden, da in der Literatur bisher über die Ribentwicklung im Verbundbereich von Stahl und Beton während der Aufheizung keine Angaben zu finden sind.

In den Bildserien auf Blatt A sind nur die Ofentemperaturen angegeben, in Blatt A die des Ofens und die der Probe, am Stahl gemessen.

Für die REM-Untersuchungen wurden Proben hergestellt, deren Abmessungen auf die Methode abgestimmt waren. Der Stahl war ein gefräster Rundstahl \varnothing 6 mm mit zwei Rundrippen. Der Stahl wurde halbiert und mit der flachen Seite nach unten in eine Spezialschalung eingebaut. Die Länge des Stahles betrug 25 mm, der Rippenabstand 18 mm. Mit einem Mörtel aus Normsand wurde dann eine Probe von 22 x 22 x 6 mm betoniert, 7 Tage naß gehalten und anschließend bei Normklima gelagert. Es wurden jeweils 6 Proben je Betonage hergestellt.

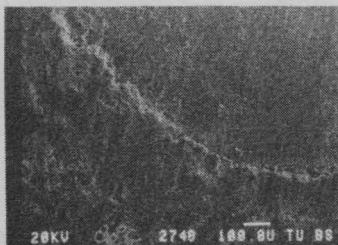
Zur Untersuchung mit dem REM wurden die Proben im Vakuum mit einer Goldschicht versehen, um eine elektrische Leitfähigkeit der Probenoberfläche zu erzeugen.

Anschließend wurden die Proben in den Heiztisch des REMs eingebaut und mit der Aufheizrate des Ofens von rd. 10 °C/min aufgeheizt.

Die Bilderserie auf Blatt A zeigt in der linken Reihe die temperaturabhängige Rißentwicklung im Bereich einer Rippe. Die rechte Bildreihe zeigt hieraus einen vergrößerten Teilbereich.

Die Bilderserie auf Blatt A zeigt die temperaturabhängige Rißentwicklung einer weiteren Probe; links im Bereich einer Rippe und rechts auf der freien Längs zwischen den Rippen, im gleichen Maßstab.

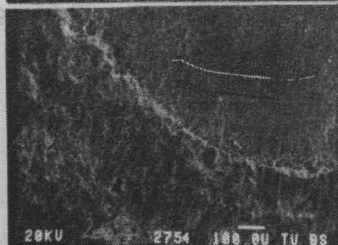
Jeton



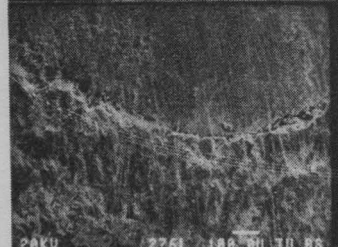
Stahl

Jeton

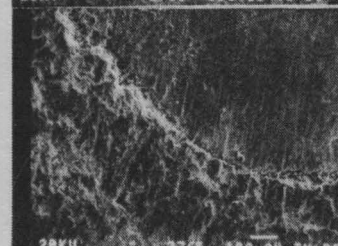
80°C



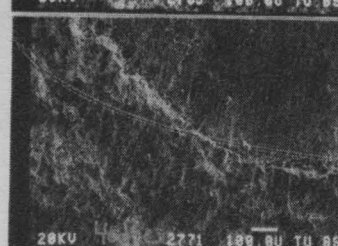
200°C



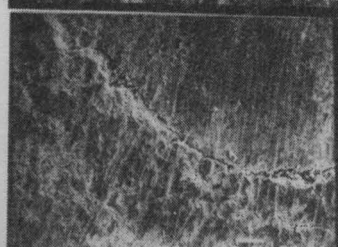
300°C



300°C +
2h



400°C



450°C



Stahl

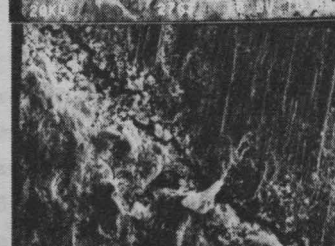
80°C



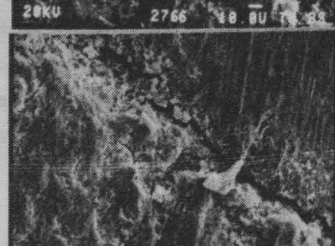
200°C



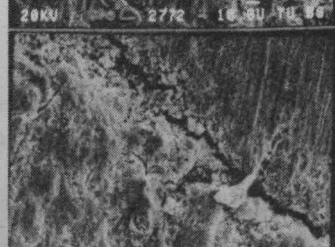
300°C



300°C +
2h



400°C



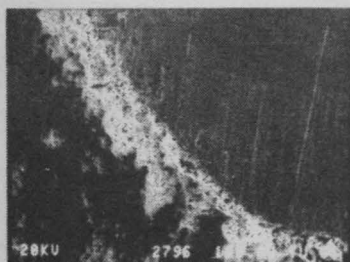
450°C

Below

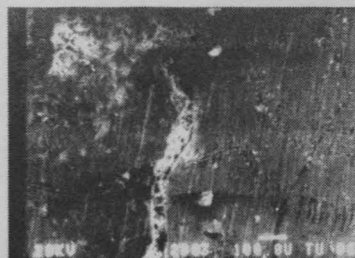
Stable

Below

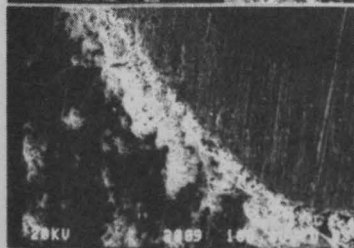
Stable



O: 26°C
P: 18°C



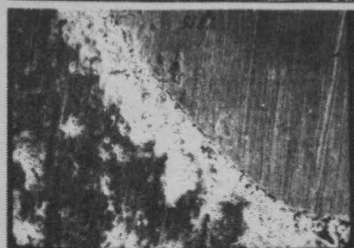
O: 20°C
P: 18°C



O: 33°C
P: 55°C



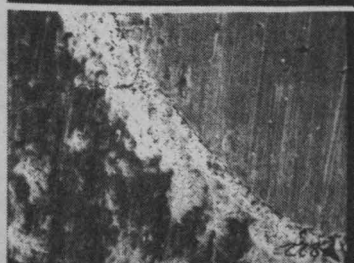
O: 33°C
P: 79°C



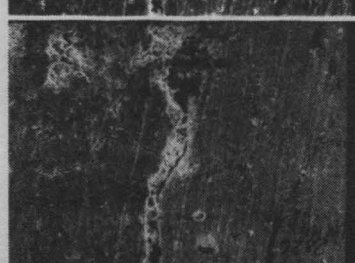
O: 46°C
P: 98°C



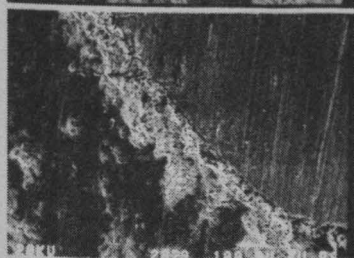
O: 42°C
P: 115°C



O: 50°C
P: 146°C



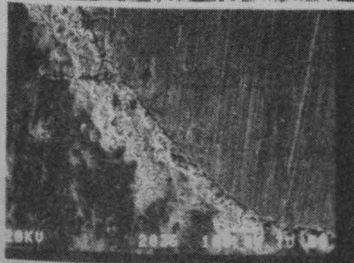
O: 54°C
P: 169°C



O: 56°C
P: 183°C



O: 59°C
P: 200°C



O: 63°C
P: 245°C



O: 70°C
P: 255°C